

*H Krauss*

EIN BEITRAG  
ZUR FUNKTIONELLEN  
ANATOMIE DES  
ZENTRUM TENDINEUM  
DES ZWERCHFELLS  
VON  
HUND UND KATZE

---

MÜNCHEN 1957



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

Aus dem Tieranatomischen Institut  
der Tierärztlichen Fakultät der Universität München  
Vorstand: Prof. Dr. HUGO GRAU

EIN BEITRAG  
ZUR FUNKTIONELLEN ANATOMIE  
DES ZENTRUM TENDINEUM  
DES ZWERCHFELLS  
VON HUND UND KATZE

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der veterinär-medizinischen Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

VON

HARTMUT KRAUSS

aus Schrabach



---

MÜNCHEN 1957

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der  
Universität München

Dekan: Professor Dr. H. LIEBMANN

Referent: Professor Dr. H. GRAU

TAG DER PROMOTION: 24. Juli 1957

*Aus dem Tieranatomischen Institut der Universität München  
(Vorstand: Prof. Dr. Hugo Grau)*

**Ein Beitrag zur funktionellen Anatomie des  
*Centrum tendineum* des Zwerchfells von Hund und Katze<sup>1</sup>**

Von  
**H. Krauss**

Mit 7 Abbildungen

(Eingegangen am 4. August 1957)

**Inhalt**

Einführung ..... 189  
Literatur  
A. Lehrbücher ..... 191  
    1. aus der Humanmedizin  
    2. aus der Tiermedizin  
B. Spezielle Arbeiten..... 192  
Material und Methode ..... 198  
Form und Gestalt des *Centrum tendineum*..... 199  
Die funktionelle Struktur des *Centrum tendineum* und seine morpho-  
    logischen Bestandteile..... 202  
Besonderheiten bei der Katze ..... 213  
Öffnungen im *Centrum tendineum* ..... 214  
Muskelbündel im Bereiche des *Centrum tendineum* ..... 220  
Diskussion ..... 225  
Zusammenfassung ..... 228  
Schrifttum ..... 230

**Einführung**

Das Diaphragma (s. Speculum Helmonti) war in der Anatomie von jeher und schon sehr früh Gegenstand ausführlicher Untersuchungen. Bereits 1676 schreibt Bartholini „de diaphragmatis structura nova“. Meist geben die Berichte und Schilderungen eine rein morphologische Darstellung des Zwerchfells, wenn man von

<sup>1</sup> Herrn Prof. Dr. Günther Hertwig zum 70. Geburtstag gewidmet.

jenen Arbeiten absieht, die das Gesamtdiaphragma als wesentlichen Teil des Atemmechanismus in seiner Bewegung und mehr in physiologischer Hinsicht darstellen. Eine funktionell anatomische Beschreibung der einzelnen Partien, so besonders eines so wesentlichen Teiles des Zwerchfells wie des zentralen Sehnenspiegels, wurde jedoch bislang in der Tiermedizin noch nicht gegeben.

Über die rein morphologische Struktur des Centrum tendineum (C. t.) des Zwerchfells der meisten Haussäugetiere liegen ausführliche Beschreibungen vor; nur bei den domestizierten Fleischfressern, also bei Hund und Katze, ist dies nicht der Fall. Es widersprechen sich die Angaben sowohl in den Lehrbüchern als auch in solchen Arbeiten, die das Zwerchfell der verschiedenen Haustiere mehr vergleichend anatomisch behandeln. Eine genaue und spezielle Darstellung der Morphologie des C. t. der Carnivoren habe ich in der Literatur nicht gefunden. Es herrscht vielfach, zum Teil auch in den neuesten Lehrbüchern der Tieranatomie (Nickel-Schummer-Seifferle 1955), die Ansicht, daß das C. t. des Zwerchfells von Hund und Katze so dünn sei, daß es makroskopisch die an seinem Aufbau beteiligten Schichten bzw. seinen Faserverlauf nicht erkennen lasse. Ich konnte an Hand der Literatur jedoch so viel feststellen, daß der Sehnenspiegel der Fleischfresser in seiner Gestalt und Konstruktion offenbar etwas von dem Schema der anderen Haustiere abweicht.

Weil nun gerade Hund und Katze zweckmäßige Versuchstiere darstellen, und weil ferner für Untersuchungen über die Mechanik der Atmung, über die Stellung des Zwerchfells bei In- und Expiration, über seine Bewegung und Wirkung usw., die genaue Kenntnis der anatomischen Verhältnisse unumgänglich notwendig erscheint, habe ich im Rahmen der Arbeiten des Tieranatomischen Instituts München die Aufgabe erhalten, diese Dinge zu überprüfen. So sollen denn im folgenden die Struktur und der Faserverlauf des Zwerchfellspiegels von Hund und Katze im Zusammenhang mit der Muskulatur eingehend geschildert werden. Ich bediene mich dabei einer funktionell-morphologischen Betrachtungsweise, wie sie auf dem ganzen Gebiet der Anatomie heute mehr und mehr in den Vordergrund tritt.

### Literatur

Die Literaturangaben sind chronologisch geordnet. Es werden auch Arbeiten erwähnt, die mit dem gegebenen Thema nur indirekt verbunden sind, die jedoch trotzdem einen Beitrag zum Verständnis der auftretenden Probleme liefern. In der Humanmedizin sind in neuerer Zeit ausführliche und

interessante Arbeiten über das menschliche Zwerchfell und dessen Sehnenspiegel erschienen. Sie wurden besonders berücksichtigt. Der Vergleich mit den Ergebnissen meiner Untersuchungen beim Hund zeitigt dabei überraschende Ergebnisse.

## A. Lehrbücher

### 1. Aus der Humanmedizin

Das C. t. des menschlichen Zwerchfells wird in den Lehr- und Handbüchern der Humananatomie bereits sehr früh — mehr oder weniger eingehend — beschrieben, z. B. bei Sömmering (1791), Meckel (1816), Bourguery (1834), Luschka (1863), Henle (1871), Sappey (1876), Poirier (1896), Le Double (1897), Gegenbaur (1899) u. a. Bemerkenswert ist unter all diesen Autoren die Auffassung Poiriers, der bereits das ganze Zwerchfell als eine Serie von zweibäuchigen Muskeln betrachtet, deren Zwischensehnen das C. t. bilden. In den neueren Lehrbüchern wird der Zwerchfellspiegel meist ohne spezielle Angaben ganz kurz abgehandelt. Gray (1944), Rauber-Kopsch (1947), Hafferl (1953), Spalteholz (1953), Benninghoff (1954), Braus (1954).

### 2. In der Tiermedizin

wird bei älteren Autoren [Gurlt (1860), Leisering-Müller-Ellenberger (1890), Frank (1892), Sussdorf (1895), Martin (1912)] das C. t. nur kurz erwähnt. Auch in den neueren Lehrbüchern der Tieranatomie findet man nur spärliche Angaben über das C. t.

Reighard und Jennings (1929) schreiben über den Zwerchfellspiegel der Katze, daß er „unregelmäßig halbmondförmig“ sei. Die Enden des Halbmondes verlängern sich als zwei sehnige Bänder und enden im jeweiligen Trigonum lumbocostale.

Baum-Zietschmann (1936) geben in ihrer Anatomie des Hundes als einzige eine nähere, wenn auch nicht völlig klare Beschreibung des C. t. des Hundezwerchfells. Entgegen früherer Anschauungen (Haberlah, s. u.) lasse sich am Spiegel die „zweigeschichtete Sehnenfaserung“ deutlich verfolgen. Die Bestandteile der beiden „Schichten“ werden aber nicht geschildert. Um das Foramen venae cavae (F. v. c.) soll die Anordnung der Fasern konzentrisch sein. An den Schenkeln des Spiegels verlaufen Fasern von der Pfeilmuskulatur im Bogen zu der der Rippenteile; starke Faserzüge sollen „entlang den Rändern“ ziehen. Im ventralen Teil des C. t. finden sich nach Baum-Zietschmann Fasern, die von der Speiseröhrenschleifenmuskulatur zur Spitze herabziehen. Sie leiten zu der sternalen und zu den ventralen Teilen der costalen Muskulatur hinüber. Quere Fasern endlich „verlaufen von der einen Seite zur andern. Besondere Wirbel bilden sich dabei nahe beider Schenkelwurzeln.“

Ellenberger-Baum (1943) unterscheiden am C. t. der Haustiere allgemein drei Hauptschichten (Haberlah), eine abdominale, eine thorakale und eine „intermediäre Mittelschicht“. Sie unterscheiden ferner Haupt- und Nebenfaserzüge. Die Hauptfasern bilden den Großteil der abdominalen und thorakalen Faserschicht. In der bauchhöhlenseitigen ver-

laufen sie im wesentlichen radiär „ohne Bezug auf ein einheitliches Zentrum“, in der brusthöhlenseitigen zirkulär. Die bei allen Tierarten vorkommenden Nebenfaserzüge dagegen verlaufen „abweichend von diesen“. Sie haben einen anderen Verlauf als die Hauptsehnenfaserzüge und sind „oft so zahlreich und in so starken Zügen vorhanden, daß sie die Hauptsehnenfasern mehr oder weniger verdecken und den Faserverlauf kompliziert gestalten“. Das C. t. der Fleischfresser erfährt keine eigene Beschreibung.

In der amerikanischen „Anatomy of the Domestic Animals“ von S. Sisson (1948) fand ich wiederum nur sehr kurze Angaben über den Zwerchfellspegel. Er soll danach im wesentlichen aus radiären Fasern aufgebaut sein. Über das C. t. des Hundes schreibt Sisson nur, daß es sehr klein sei.

Zimmerl schreibt in einer italienischen Anatomie von 1949:

„La parte tendinea è costituita da una spessa e robusta lamina pure a forme di cuore di carta da gioco colla base, in alto, che raggiunge, o quasi, le due ultime coste, è formata da fibre a direzione essenzialmente raggiata, non mancano però quelle aventi altra direzioni, a destra in rinvianza della linea mediana i fasci tendinei limitano un' apertura per il passaggio della vena cava caudale.“

Dobberstein und Koch (1953) berichten von dem C. t. der Haustiere allgemein, daß es sich aus drei Lagen von Sehnenfasern (!) zusammensetze, die teils radiär, teils zirkulär, teils schräg verlaufen.

Nickel-Schummer-Seifferle (1954) wiederum halten sich in ihren Angaben an Ellenberger-Baum:

„Das Centrum tendineum besteht im allgemeinen aus drei Schichten von Sehnenfaserbündeln (!), deren Hauptfaserzüge in der abdominalen Schicht im wesentlichen radiär, in der thorakalen Schicht zur Hauptsache zirkulär verlaufen und in sehr verschiedener Weise von sog. Nebenfaserzügen durchwirkt sein können. Beide Hauptfaserlager werden durch eine intermediäre Mittelschicht miteinander verbunden.“

Über das stiefelzieher- bzw. stimgabelförmige C. t. der Fleischfresser wird speziell berichtet, daß es „sehr dünn sei und die an seinem Aufbau beteiligten Schichten, jedenfalls makroskopisch, nicht erkennen ließe“.

## B. Spezielle Arbeiten

Bereits 1866 untersuchten Ludwig und Schweigger-Seidel das C. t. des Kaninchenzwerchfells, jedoch weniger auf seinen Faserverlauf als auf seine Physiologie. Sie unterscheiden eine radiäre und eine zirkuläre Schicht von Sehnenfasern. Erstere liegt auf der Bauchseite. Die zwischen den radiären Fasern liegenden Spalten haben eine besondere Bedeutung: Sie besitzen eine Art Endothel wie die Gefäße und sind mit den (im wesentlichen auf der pleuralen Seite befindlichen) Lymphgefäßnetzen verbunden. Durch im Peritoneum gelegene Stomata gelangen zu resorbierende Stoffe zunächst in diese Spalten und von dort in die Lymphgefäßnetze auf der thorakalen Seite. Die Zwerchfellbewegungen wirken dabei weitgehend unterstützend und wie die

einer doppelt wirkenden Pumpe. Das C. t. ist nach Ludwig und Schweigger-Seidel somit ein wichtiges Organ zur bekannt leichten Resorption von Stoffen aus der Bauchhöhle.

1897 berichtet Grönroos die vorher herrschende Meinung, das C. t. sei als „fixer Punkt“ (d. h. als nicht beweglicher Teil des Zwerchfells) zu betrachten. Er weist zum ersten Male mittels Röntgenaufnahmen eine Bewegung des Zwerchfellspiegels nach.

1903 beschreibt v. d. Hellen ausführlich das C. t. des menschlichen Zwerchfells, seine Ausdehnung, seine dreilappige Gestalt, seine Struktur und insbesondere in seinem Bereiche abnorm vorkommende Muskelbündel an Hand von 18 Präparaten. Er unterscheidet in Anlehnung an frühere Autoren (Henle, Sappey) im C. t. „anteroposteriore“ und „transversale“ Fasern. Diese Bezeichnungen kamen wohl durch die stark divergierende Form des menschlichen Zwerchfellspiegels zustande. Die anteroposterioren Fasern, von vorne nach hinten verlaufend, konvergieren vor allem in den beiden hinteren Teilen nach der Medianen zu. Sie bilden die Hauptmasse der Fasern: „Hauptfasern“. Die transversalen Fasern verlaufen nahezu senkrecht zu letzteren. Sie überkreuzen sich entsprechend der Konvergenz der Hauptfasern im ventralen Teil und sind sowohl abdominal als auch thorakal vorhanden. Zur Begrenzung des F. v. c. erfahren sie eine entsprechende Ab- und Umlenkung. Außerdem gäbe es Fasern, die im ventralen Lappen des Zwerchfellspiegels von seinem rechten zum linken Rande verlaufen.

In der Tiermedizin erfährt das Zwerchfell der Haustiere und dessen C. t. zum ersten Male eine nähere und auch gründliche Erörterung in einer Arbeit von Haberlah (1911). Seine Untersuchungen an 600 Zwerchfellen von Pferden, Rindern, Kälbern, Schafen, Ziegen, Schweinen, Hunden, Katzen und Meerschweinchen finden teilweise wörtlich ihren Niederschlag in der Ausgabe des gleichen Jahres von Ellenbergers, „Handbuch der vergleichenden mikroskopischen Anatomie der Haustiere“ (Verf. Trautmann). Es wird eingehend über die muskulösen Verhältnisse und über die Konstruktion des C. t. berichtet, ferner über die vorhandenen Öffnungen, Blutgefäße, Nerven und Lymphgefäße des Zwerchfells, über die Zwerchfellbänder und den Bau der serösen Überzüge (Pleura und Peritoneum). Haberlah unterscheidet außer den beiden Überzügen drei Schichten am C. t.: eine thorakale und eine abdominale Hauptfaserschicht, die durch eine konjunktive, *bindegewebige* Mittelschicht miteinander verbunden sind. (Diese Mittelschicht besteht also nach Trautmann und Haberlah nicht aus Sehnenfasern! Der Verfasser.) Die Fasern des peritonealen Stratum zeigen radiäre Struktur ohne Bezug auf ein einheitliches Zentrum. Sie entsprechen den („anteroposterioren“) Hauptfasern v. d. Hellen's. Die thorakalen Hauptfasern verlaufen denen der abdominalen Seite stets entgegengesetzt.

„Sie ziehen, indem sie jederseits entlang den lateralen Pfeilerabteilungen aus deren Muskulatur hervorgehen, im nach der Medianebene offenen Bogen ventral, um sich in den mittleren Partien des ventralen Lappens zu vereinigen.“

Außer den Hauptfasern unterscheidet Haberlah Nebenfäsern, die in „anderen Richtungen“ verlaufen als die Hauptfasern. Sie befinden sich vor

allem auf der abdominalen Zwerchfellseite (Begrenzung des F. v. c. usw.) und zeigen bei den einzelnen Arten weitgehend spezifisches Verhalten.

Über die Fleischfresser speziell berichtet Haberlah:

„Bei den Carnivoren, Hund und Katze, ist die Feststellung des Faserverlaufs außerordentlich erschwert, da derselbe bei diesen Tieren wegen der Kleinheit und Zartheit der Verhältnisse des Spiegels nur mikroskopisch feststellbar ist. Der histologische Befund kann somit nicht durch die makroskopische Untersuchung kontrolliert werden. Ein exakter, genauer Nachweis des Faserverlaufs ist deshalb schwer zu erbringen.“

„So viel konnte aus den von mir durchgesehenen zahlreichen Schnitten konstatiert werden, daß der Verlauf der Hauptfasern des Spiegels bei beiden Tierarten dem der übrigen Tiere entspricht. Es besteht nur der Unterschied, daß sich die Faserzüge der thorakalen Seite mit denen der abdominalen oft überkreuzen, so daß die Fasern der peritonealen Seite nach der pleuralen übertreten und umgekehrt.“

„Aus meinen Untersuchungen geht also hervor, daß bei den Carnivoren genau wie bei den anderen Haussäugetieren eine zirkuläre und eine radiäre Faserschicht vorhanden ist, nur daß beide makroskopisch nicht zu erkennen und auch nicht so scharf markiert sind als bei den anderen Haustieren. Besonders verwischt ist dieser Gegensatz im mittleren Lappen und das wieder am meisten im ventralen Teile.“

Diese Anschauung hat sich im wesentlichen, wie schon erwähnt, im deutschen Schrifttum bis in die neueste Zeit erhalten (Nickel-Schummer-Seifferle).

Petit verneint 1919 gegenüber allen früheren Autoren die Möglichkeit einer Unterscheidung des C. t. der verschiedenen Säugetierarten an Hand seiner Form und Gestalt. Seine diesbezüglichen Untersuchungen an den verschiedensten Tierarten und am Menschen zeitigten weitgehende individuelle Unterschiede:

„L'aspect du centre phrénique diffère non seulement d'un ordre à l'autre, et dans tel ordre, d'une famille à une autre famille, mais de différences sensibles, quoique moins tranchées, apparaissent aussi jusque dans la même espèce. Ainsi, pour six Chats examinés par nous, on aurait pu donner six descriptions et six dessins particuliers du centre phrénique. De même pour trois Rats, trois Souris, deux Fouines, etc.“

„Variations de forme, variations de dimension, voilà donc deux faits caractéristiques de la morphologie du centre phrénique.“

Blair berichtet 1922 (unabhängig von v. d. Hellen) erneut an Hand von 28 menschlichen Zwerchfellen und denen einiger Affen über die Struktur des menschlichen C. t., über accessorische Muskelbündel im Spiegel, über Blutgefäße und besonders ausführlich über ein zusätzlich vorkommendes, embryonal angelegtes Homologon zum F. v. c. Nach den Untersuchungen Blairs ist das C. t. aus folgenden Systemen zusammengesetzt: eine abdominale Lage, wie sie bereits v. d. Hellen als „anteroposteriore“ Hauptfasern beschrieben hat (in dem dorsalen Lappen bezeichnet er die konvergierenden

und deshalb fast transversal verlaufenden Fasern als „Transversal Layer“ und eine thorakale Lage (vor allem im Bereich der dorsalen Lappen), die weit über die Muskelsehnengrenzen hinausreichend in der Längsachse verläuft und an den dorsalen Enden der Lappen eine bogenförmige, verfilzte Überkreuzung bildet („superior longitudinal layer“). Diese Schicht reicht ventral im wesentlichen nur bis zum Übergang der dorsalen Lappen in den ventralen. Ferner besteht noch eine unvollständige abdominale Längslage auf dem rechten Lappen („inferior longitudinal layer“). Sie wird an dessen ventralem Ende zur ventrolateralen Begrenzung des F. v. c. Als wichtigsten Punkt betrachtet Blair die zentrale Vereinigungsstelle der drei Lappen des C. t. unmittelbar unter dem Hiatus oesophagicus und medial vom F. v. c. Dort liegt ein dicker Sehnenknoten, der die Überkreuzung von Bändern darstellt, die wie die „Balken eines Andreaskreuzes“ angeordnet sind („right anterior“, „left anterior“, „right posterior“ und „left posterior band“). Die beiden hinteren Bänder verlaufen vom Knotenpunkt aus entlang der hinteren Grenze der beiden dorsalen Lappen. Die vorderen divergieren beide im ventralen Lappen gegen die Muskulatur zu. Das Ganze ist symmetrisch. Im Winkel rechts dieses Sehnenkreuzes liegt das F. v. c. In seinem linken Winkel fand Blair bei zehn von zwölf Anatomieleichen ebenfalls eine, wenn auch kleine, in seiner Ausdehnung und Größe variierende, faserfreie Stelle. Ihre Begrenzung erfolgt auf dieselbe Art und Weise wie die des F. v. c. In daraufhin untersuchten Embryonen war es zum Teil schwierig, jene Besonderheit festzustellen;

„In all such cases, however, the left angle of the cross shows a markedly weak area where the tendinous fibres seem to be replaced by a structureless fascia“.

Blair betrachtet die Anlage jenes linken „Venenforamens“, das vollkommen symmetrisch zu dem der Vena cava liegt und ihm im Bau gleicht, als eine embryonale Reminiszenz an ursprünglich paarig angelegte Körpervenen, von denen die linke („left vitelline vein“) in einem sehr frühen Embryonalstadium obliteriert. Beim erwachsenen Individuum ist letztere selbst deshalb nicht mehr zu finden; bei Foeten jedoch hat Blair noch vorhandene Teile jener embryonalen Vene nachgewiesen („perforating vein“). Einzelheiten werden genauer beschrieben. Die Struktur des C. t. muß früher festgelegt sein als die Anlage jener Gefäße. Die Symmetrie in der Anlage der Sehnenfaserbündel und das (teilweise vorhandene) linke Venenforamen sprechen dafür.

1927 gibt Pancrazi eine vergleichende Schilderung der Sehnenstruktur des F. v. c. bei den Säugetieren. 1931 untersucht er vergleichend den Aufbau des Spiegels der Mammiären. Bei allen Tierarten stellt er ein einheitliches System fest. Nach seinen Untersuchungen ist das C. t. aus zwei gleichen Arten von Bündeln zusammengesetzt. Die erste Art ist identisch mit der von Blair beim Menschen beschriebenen, transversalen Schicht:

„... quelli del primo si trovano nelle due fogliole dorsali, dove sono diretti quasi trasversalmente da un margine all' altro, riunendo insieme i fascetti muscolari della parte lombare e quelli della porzione dorsale della parte costale.“

Die zweite Art von Fasern beschreibt Pancrazi wie folgt:

„I fascetti tendinei del secondo ordine, invece, incominciano più spesso compatti all' indietro in corrispondenza delle due fogliole dorsali, facendo seguito in prevalenza alla parte lombare, si recano quindi in avanti e, raggiunta la fogliola ventrale, s' incrociano, quelli di destra sovrapponendosi cranialmente ai sinistri subito davanti alla parte lombare ed a sinistra del foro della vena cava inferiore, per poi espandersi a ventaglio e in varia proportione secondo le spezie ....“

Von dieser bandartigen Anordnung der fibrösen Bündel, die „beinahe ein wenig der für den Menschen beschriebenen gleichkommt, die v. d. Hellen gegeben hat“, unterscheiden sich nur jene Arten von Säugetieren, bei denen das F. v. c. eine extreme Stellung einnimmt. Pancrazi sagt deshalb:

„Si ha così l'impressione che l'ordinamento dei fasci tendinei del centro frenico dipende molto dalla posizione occupata dal foro della vena cava.“

Das F. v. c. wird gebildet von einer „dorsocranialen“ und einer „ventro-caudalen Lippe“, die die in schrägdorsoventraler Richtung vom Herzen zur Leber aufsteigende Vene umschließen. Die Lippen bestehen aus quer verlaufenden Bündeln. Die dorsocraniale Lippe ist bei manchen Arten ganz oder teilweise (canis) muskulös. Das Verhalten bei den verschiedenen Säugern wird geschildert.

1937 versucht Benz die Eigenform des Zwerchfells des Schäferhundes zu klären. Form und Stellung im Thorax werden durch Gipsabdrücke festgestellt, die durch Ausgießen der abdominalseitigen konkaven Zwerchfellfläche mit Gips erhalten wurden. Das C. t. bildet nach Benz mit seinen drei Blättern die Kuppeln des Zwerchfells.

Eine ausführliche Arbeit erscheint im selben Jahre von Virno über das *menschliche* Zwerchfell. Virno betrachtet das ganze Diaphragma unter dem Gesichtspunkt der Funktion seiner einzelnen Teile. Er faßt es als eine Summe von Sekundärmuskeln auf, die durch eine intermediäre Zwischensehne vereinigt werden (unabhängig von früheren Autoren). Sie haben den Wert zweibäuchiger Muskeln und werden in Haupt- und Nebensysteme eingeteilt. Die Züge der Hauptssysteme (sist. principali) gleichen in ihrer Morphologie den anderen zweibäuchigen Muskeln des Körpers. Jene der Nebensysteme (sist. addizionali) besitzen nur einen Muskelbauch. Die an diesen anschließende Sehnenfaser vereinigt sich mit denen der Hauptssysteme und bildet mit jenen eine funktionelle Einheit. Virno sagt dazu:

„Anche i sistemi addizionali sono da considerarsi dal lato funzionale come sistemi digastrici, sebbene non siano propriamente tali tal lato morfologico.“

Virno unterscheidet zwei Hauptssysteme, über deren sehnigen Teil er berichtet:

„le porzioni tendinee dei due sistemi digastrici, da me chiamati freno-intercostale posteriore e freno-sterno-costale erano infatti già note

col nome, rispettivamente, di benderella arciforme e benderella obliqua di Bourgery.“

Virno greift hier auf Bourgery zurück, der von früheren Autoren (Blair u. a.) bereits weitgehend berücksichtigt wurde.

Körner berichtet 1938 frühere Anschauungen über die Entstehung des C. t. Nach Broman soll in einem frühen Embryonalstadium eine vollständige Muskularisierung des Zwerchfells stattfinden. Später soll sich der zentrale Teil des muskulösen Zwerchfells in Sehnengewebe umwandeln. Körner fand jedoch bei Embryonen vom Schwein, Meerschweinchen und von der Maus nie ein völlig muskulöses Zwerchfell. Das Sehnengewebe entsteht nach ihm primär aus dem primitiven, bindegewebigen Zwerchfell.

1948 beschreibt Hasselwander beim Menschen die „paradoxe Krümmung der ventralen Zwerchfellanteile“ bei der Inspiration. (Unter paradoxer Krümmung des Zwerchfells versteht man das Zurücktreten der Pars sternalis über ihren Ansatzpunkt am Brustkorb in die Regio epigastrica.) Er versucht seine Röntgenbefunde anatomisch zu erklären: Bei der Inspiration erfolgt vor allem eine Streckung in der Medianen (Lumbalpeiler — Pars sternalis). Durch die Kontraktion frontaler Muskelsehnenbögen, die jeweils am siebenten Rippenknorpel entspringen, wird ein Zurückklappen der Pars sternalis nach caudal erreicht (Heinrich).

Zuletzt gibt Heinrich (1953) eine Darstellung der konstruktiven Form des menschlichen Zwerchfells, mit besonderer Berücksichtigung jener paradoxen Krümmung seiner Pars sternalis. Die Morphologie des C. t. wird u. a. eingehend beschrieben.

Heinrich unterscheidet Hauptfasern und Nebenfasern:

„Mit dieser Einteilung meine ich neben grundsätzlichen morphologischen Verschiedenheiten in Ursprung, Verlauf, Variabilität und Stärke der Sehnenfasern vor allem die funktionelle Wertigkeit der Systeme.“

An anderer Stelle schreibt er jedoch:

„Über die funktionelle Aufgabe der Nebenfasern läßt sich noch nichts Endgültiges aussagen.“

Hauptfasern des C. t. sind nach Heinrich immer die intermediären Zwischensehnen eines zweibäuchigen Muskels. Heinrich unterscheidet ein homolaterales und ein kontralaterales Hauptfasersystem. Ersteres ist annähernd radiär zur Wirbelsäule eingestellt. Die Fasern des kontralateralen Systems sind mit denen des homolateralen, besonders auf der thorakalen Seite, verflochten. Seine zweifach bemuskelten Sehnenbögen liegen in den beiden Diagonalen des Thorax. Der dorsomedialen Grenze des C. t. entlanglaufend, überkreuzen sie sich direkt unter dem Hiatus oesophagicus in einem derben Sehnenknoten. Nebenfasern aber besitzen nur einen Muskelbauch und überschichten die Platte der Hauptfasern sowohl thorakal wie abdominal. Sie sind weniger konstant als die Hauptfasern. Eine eingehende Schilderung des Verlaufs der verschiedenen Faserzüge wird gegeben. Hein-

rich versucht mit Hilfe des kontralateralen Systems die paradoxe Krümmung der Pars sternalis des menschlichen Zwerchfells zu erklären.

Mit Hilfe dieser Zusammenstellung der wesentlichen Literatur über das einschlägige Gebiet, die zwar Differenzen, aber trotz verschiedener Ausdrücke und Bezeichnungen auch Übereinstimmung im Prinzip des Aufbaus des C. t. erkennen läßt, sei an Hand eigener, ausführlicher Untersuchungen im folgenden eine Schilderung der funktionellen Anatomie des C. t. des Hunde- und Katzenzwerchfells gegeben.

### Material und Methode

Die Untersuchungen wurden rein makroskopisch durchgeführt, nur teilweise war die Benutzung einer Lupe notwendig. Zwar zeigt sich der Spiegel bei manchen Präparaten (vor allem bei Katzen) sehr dünn, doch läßt sich im frischen Zustande oder nach Anwendung einer zweckmäßigen Fixierungsflüssigkeit sehr wohl der Faserverlauf und die Struktur des Ganzen feststellen.

Untersucht wurden die Zwerchfelle von 61 Tieren männlichen und weiblichen Geschlechts, und zwar von

#### 42 Hunden verschiedener Rassen

|                   |                |
|-------------------|----------------|
| 21 Schäferhunde   | 2 Mopsbastarde |
| 6 Chow-Chow       | 2 Vorstehhunde |
| 3 Foxterrier      | 1 Bernhardiner |
| 3 Schnauzer       | 1 Dackel       |
| 2 Deutsche Doggen | 1 Spitz        |

18 Hauskatzen

1 Königstiger

Von den 42 Hunden waren 12, von den Katzen 6 mehr oder weniger geburtsreife Föten. Das Zwerchfell wurde je nach den Gegebenheiten teils sofort, teils bis zu acht Stunden nach dem Tode der Tiere entnommen, präpariert (Leber, Oesophagus, Aorta und — bei einem Teil der Präparate — die Hohlvene wurden entfernt) und nach 24stündiger Wässerung zur Fixierung in eine 1–2%ige Phenollösung verbracht, die von Zeit zu Zeit erneuert wurde.

Es wurden auch andere Fixierungsflüssigkeiten, wie 1–5%iges Formalin, 1–5%ige Essigsäure und Kaiserling-Gemisch erprobt. Diese erwiesen sich jedoch, besonders für sehr kleine Präparate (Katze), als unzuweckmäßig. Formalin bewirkt eine Schrumpfung des ganzen Spiegels und der Muskulatur; ferner nimmt die Serosa (Brust- und Bauchfell) eine mehr oder weniger undurchsichtige weiße Farbe an und läßt sich nach erfolgter Fixierung nur mehr schwer von den Faserbündeln des Spiegels trennen. Essigsäure erwies sich als völlig ungeeignet, da sie eine sulzige Aufquellung des Schnenspiegels bewirkt. Dies macht eine genaue Untersuchung der bei Hund und Katze im Gegensatz zu anderen Tieren sehr feinen Struktur des C. t. fast unmöglich. (Haberlah verwandte als Fixierungsflüssigkeit 1%ige Essigsäure. Das ist wohl ein Grund für seine Anschauung, der Faserverlauf des C. t. lasse sich bei Hund und Katze makroskopisch nicht feststellen.)

Für eine exakte Untersuchung war die Entfernung der obersten Schichten, der serösen Überzüge, trotz deren geringen Stärke meist erforderlich. Ihre Beseitigung bereitet Schwierigkeiten, noch dazu, weil Pleura, Peritoneum und die Ausläufer der Fascia endothoracica und transversa durch Bindegewebe sehr fest mit ihrer Unterlage verbunden sind und die Faserstruktur des C. t. ebenfalls verhältnismäßig dünn ist. Es konnte deshalb von manchen Präparaten jeweils nur eine Schicht, entweder der thorakale oder abdominale Überzug im Bereiche des Sehnen spiegels mit Pinzette und Messer abgetragen werden, um die Stabilität des ganzen Gebildes zu wahren. Abgesehen von den mitunter beträchtlichen individuellen Unterschieden in Form und Struktur wurde allein dadurch die Untersuchung einer größeren Zahl von Zwerchfellen notwendig. Die Faserbündel selbst bedurften nur in wenigen Fällen der Auffaserung mit der Präpariernadel, um ihren Verlauf exakt festzustellen.

Für die photographischen Aufnahmen wurden meist Zwerchfelle von besonders großen und kräftigen Tieren verwendet, da sich die Struktur des C. t. auf der Photographie sonst nicht genügend hervorhebt. Teils wurden die Aufnahmen im diffusen, durchscheinenden Licht gemacht, teils war eine stark seitliche Beleuchtung zur Hervorhebung der Struktur nötig.

### Form und Gestalt des Centrum tendineum

Das dreiblättrige C. t. ist in der Form den Umrissen eines Hasenköpfes ähnlich. Es ist einmal von mehr gedrungener, das andere Mal von mehr langgezogener Gestalt und liegt nicht genau in der Medianebene, sondern ist etwas nach rechts verschoben (bei der Katze mehr als beim Hund; Abb. 5). Die beiden dorsalen Lappen divergieren unter einem Winkel von 65 bis 85°. Beim Hund haben sie für sich die Form eines spitzen Blattes (s. Abb. 1, 3 und 4) und sind von Fall zu Fall von verschiedener Breite. Der rechte Lappen ist im allgemeinen breiter als der linke. Nach Pancrazi soll das rechte Blatt bei der Katze wesentlich länger sein als das linke, beim Hunde jedoch kürzer. Ich konnte nichts hieraufbezügliches feststellen. Beide Lappen sind im allgemeinen von gleicher Länge. Es gibt natürlich individuelle Varietäten, die mitunter weitgehende Abweichungen von der Norm aufweisen.

Bei der Katze zeigen die dorsalen Lappen eine besondere Eigentümlichkeit. Von der thorakalen Seite präsentieren sie sich bei oberflächlicher Betrachtung im allgemeinen etwa in derselben Ausdehnung und Gestalt wie beim Hund, während auf der abdominalen Seite die Muskulatur meist nur einen Sehnenstreifen freiläßt, also weitgehend über die thorakalseitigen Grenzen des Spiegels vorstößt (Abb. 5 M). Bei einigen besonders großen, männlichen Tieren waren die dorsalen Lappen auch bauchhöhlenseitig gut entwickelt, so

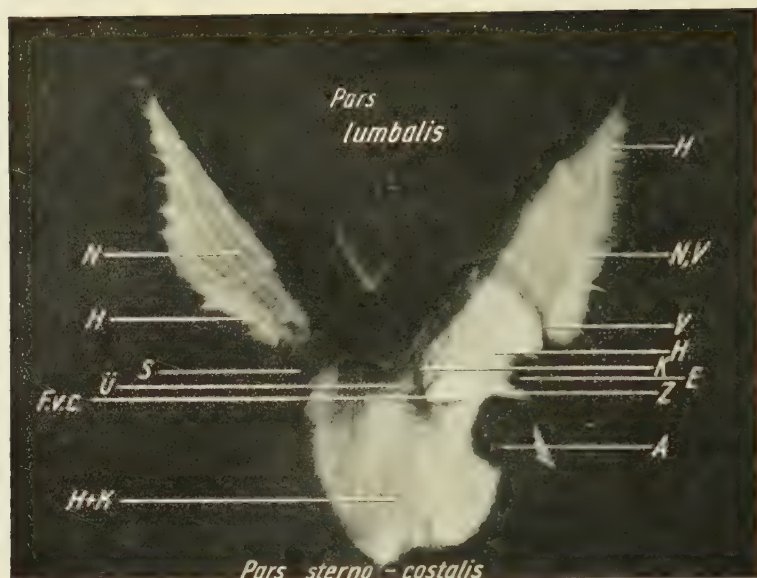


Abb. 1. Abdominalansicht vom Centrum tendineum des Zwerchfells eines achtjährigen, männlichen Schäferhundbastards. Aufnahme im durchfallenden Licht,  $\frac{1}{2}$  nat. Größe. (Ohne Retusche.)

H = homolaterale Hauptfasern. In den dorsalen Lappen ist deren ventromedial konvexe Krümmung erkennbar. K = kontralaterale Hauptfasern, wegen der Technik der Aufnahme kaum sichtbar (nur im Bereich des Kreuzungsknotens). Ü = Überkreuzungsknoten der kontralateralen Hauptfasern. N = abdominalseitige Nebenfasern. V = typische Anordnung der „Aufhängefasern“ der ventrocaudalen Lippe des Foramen venae cavae (F. v. c.). Z = aus dem Spiegel auf die Hohlvenenwand übergehender Sehnenzug. E = über die Spiegelgrenze hineinreichende Einstrahlung der Muskulatur in die dorsocraniale Lippe des F. v. c. S = linke Einstrahlung von Muskulatur in den Spiegelbereich. A = abnorm vorkommendes Muskelbündel

besonders bei dem Zwerchfell eines dreijährigen, männlichen Königstigers.

Die dorsalen Enden der dorsalen Lappen stehen bei Hund und Katze nicht etwa wie bei den Perisso- und Artiodaktylen in breitem Zusammenhang mit dem Trigonum lumbo-costale, sondern es ist nur ein unregelmäßiges, zackiges, bindegewebiges Streifen vorhanden, das von den Spitzen der dorsalen Lappen zum Trigonum lumbo-costale zieht (Abb. 4 T). Im allgemeinen findet hier ein Faseraustausch der Muskelbündel der Pars costalis und der Pars lumbalis statt.

Diese Muskelfaserbündel, die zwischen dem Trigonum lumbo-costale und dem dorsalen Lappen miteinander in Verbindung treten, sind sehr dünn und werden gegen das Trigonum lumbo-costale zu immer feiner, bis schließlich dort nur noch die beiden

Serosablätter mit ihren Fascien aufeinanderliegen. Pleura und Peritoneum bzw. die Fascia endothoracica und transversa sind in diesem Bereich besonders stark und gut ausgeprägt und verschmelzen innig mit den Sehnenfasern in den Spitzen der dorsalen Lappen, bzw. sind sie durch Bindegewebe besonders fest mit den flachen Muskelbündeln und im Trigonum mit sich selbst verbunden. Dadurch wird einerseits trotz der gering entwickelten Muskulatur eine genügende Festigkeit und Stabilität der Scheidewand Zwerchfell erreicht, andererseits werden jene Muskelbündel ausreichend verspannt.

Beim Übergang der beiden dorsalen Lappen in den ventralen fällt beim Hunde die regelmäßige über die eigentliche Spiegelgrenze reichende Einstrahlung der Muskulatur der Pars costalis auf (Abb. 1, 2, 3, 7; E). Sie bildet einen Teil der „dorsocranialen Lippe“ des F. v. c. (Pancrazi) und reicht bei manchen Präparaten so weit, daß diese dorsale Begrenzung des F. v. c. halb sehnig und halb muskulös ist. Diese Einstrahlung der Muskulatur der Pars costalis fehlt bei der Katze (Abb. 5 F). Die laterale Muskelsehnergrenze des rechten dorsalen Lappens setzt sich in gerader Linie in die des ventralen Blattes fort. Am Übergang des linken dorsalen Lappens in den ventralen dringt jedoch bei der Katze im allgemeinen die Muskulatur der Pars costalis oft in Form einer ausgeprägten Spitze gegen den Spiegel vor und verschmälert das ventrale Ende des linken dorsalen Lappens beträchtlich (thorakale Ansicht! Abb. 5 S). Auch beim Hund wird häufig der Übergang vom linken dorsalen in den ventralen Lappen durch das Vordringen der Muskulatur der Pars costalis gegen das Pfeilerende zu eingeengt (Abb. 1 S).

Der ventrale Lappen ist im allgemeinen wesentlich breiter, jedoch auch kürzer als die beiden dorsalen und sowohl beim Hund als auch bei der Katze gut ausgebildet. Seine individuell variierende Form ist etwa mit einem Spatenblatt zu vergleichen. Lateral am Übergang des dorsalen rechten Blattes in das ventrale befindet sich das F. v. c. (s. Abb.).

Nach v. d. Hellen soll beim Menschen das kindliche C. t. im Vergleich mit dem muskulösen Teil des Zwerchfells viel kleiner als beim Erwachsenen sein:

„Ein kindliches Zwerchfell ist größtenteils muskulös, während sich beim Greise das C. t. auf Kosten der kontraktilen Fasern ausbreitet.“

Haberlah schreibt darüber:

„Nach meinen Untersuchungen läßt sich ein ähnliches Verhältnis zwischen dem muskulösen und sehnigen Teil des Zwerchfells je nach der

Körpergröße der Tiere feststellen, indem bei den größeren Individuen einer Tierart der muskulöse Teil im Verhältnis zum sehnigen größer ist als bei kleinen Individuen. Ich fand in jedem Falle bei Hund und Katze, daß im Verhältnis zur Körpergröße dieser Tiere die Muskulatur außerordentlich gegenüber dem Spiegel und gegenüber den anderen von mir untersuchten Tieren entwickelt ist.“

In der Tat ist das Flächenverhältnis von Muskulatur und Sehnen Spiegel bei großen Hunderassen, wie Bernhardiner oder Deutsche Dogge, weit mehr zugunsten des muskulösen Teils verschoben. Jedoch waren in meinem Untersuchungsgut keine altersbedingten Unterschiede im Muskel-Sehnen Spiegel-Verhältnis festzustellen. Es wird die sehnige Struktur des C. t. bereits im Embryo festgelegt. Das C. t. ist bei der Geburt in endgültiger Form vorhanden und auch bei sehr alten Hunden nicht auf Kosten der Muskulatur vergrößert. Im Alter und auch bei besonderen, pathologischen Veränderungen im Tierkörper (chronische Krankheiten der Lunge, Umfangsvermehrung der Bauchhöhle u. ä.) wird der Sehnen Spiegel in der Regel nur in seiner Struktur wesentlich kräftiger, jedoch nicht größer in seiner Ausdehnung.

### Die funktionelle Struktur

#### des Centrum tendineum und seine morphologischen Bestandteile

Entgegen der Ansicht von Haberlah und Nickel-Schummer-Seifferle ist es sehr wohl möglich, mittels makroskopischer Untersuchungen eine Darstellung der Morphologie des C. t. der Carnivoren zu geben. Allerdings ist, wie schon erwähnt, wegen der individuellen Unterschiede die Untersuchung einer größeren Zahl von Präparaten notwendig. An Hand eines umfangreichen Materials läßt sich ohne weiteres sowohl beim Hund als auch bei der Katze ein charakteristischer Bauplan feststellen, der im folgenden beschrieben werden soll.

Im Kapitel über die Literatur wurde besondere Rücksicht auf den Zwerchfells Spiegel des Menschen genommen. Das C. t. des Hundes zeigt nämlich in vielen Punkten eine besondere Übereinstimmung mit dem des Menschen.

Dies ist nicht verwunderlich. Mensch und Hund haben bei einem morphologischen Vergleich der Haustiere mit dem Menschen relativ viele Analogien. Sie zeigen noch Beziehungen in der Osteologie der Extremitäten, in dem Vorhandensein einer rudimentären Clavicula, in der Lage des Herzens, in der Konstruktion des Verdauungskanals (Magen, Darmlänge) und in manchen anderen Bereichen.

So sind auch die Verhältnisse im Bereich des Thorax der Fleischfresser im Vergleich mit denen der anderen Haustiere immer noch am weitesten denen des Menschen angenähert.

Eine besondere Übereinstimmung ergibt sich, wie gesagt, am Zwerchfell selbst: Sowohl beim Menschen als bei den Carnivoren besteht die Pars lumbalis gegenüber der zweiteiligen des Pferdes und der anderen Haustiere aus drei Teilen. In beiden Fällen sind außer den Crura lateralia und medialis gut ausgebildete Crura intermedia vorhanden (Abb. 1). Dies bewirkt einen entsprechend tiefen und breiten Einschnitt der Pars lumbalis in das C. t. und somit eine zumindest weitgehende Ähnlichkeit im Verlauf der dorsalen Spiegelgrenzen. Das Crus laterale sinistrum der Pars lumbalis hat beim Hund einen besonderen lateralen Anteil, der am Arcus lumbocostalis vom Ventralrand des M. psoas über den M. retractor costae her einstrahlt (Baum-Zietschmann). Auch diese Verhältnisse entsprechen denen beim Menschen.

Die übrigen Spiegelgrenzen zeigen ihre Ähnlichkeit durch ein entsprechendes Vordringen der Costalmuskulatur gegen den Spiegel sowohl beim Menschen wie beim Hund.

Es verwundert nun nicht, wenn außer der homologen Muskelgliederung und der Form des C. t. sich auch eine weitgehende Ähnlichkeit in der Konstruktion des Spiegels feststellen läßt.

Bei der folgenden Beschreibung des C. t. übernehme ich jene Begriffsbezeichnungen früherer Autoren, die mir als zweckmäßig erscheinen. Die meisten Verfasser prägten eigene, wieder neue Ausdrücke für die Darstellung der einzelnen Teile der Fasersysteme (s. Literaturkapitel), die nicht immer als günstig zu bezeichnen sind. Ferner seien die Sehnenbündel des Spiegels im Zusammenhang mit der Muskulatur unter dem Gesichtspunkt der Funktion betrachtet. Dies allein gestattet überhaupt erst die Aufstellung eines einleuchtenden „Bauplanes“. Die weitgehenden individuellen Unterschiede im Faserverlauf des Spiegels lassen die Aufstellung eines allgemeingültigen, auf Einzelheiten eingehenden Schemas auf nur descriptiven Grundlagen in der Tat nicht zu.

Gerade hierin liegt der Grund für die vorhandenen Differenzen in den verschiedenen Darstellungen; jede nur in topographische Einzelheiten gehende Untersuchung führt bei Verwendung eines womöglich zu geringen Untersuchungsmaterials zwangsläufig zu immer neuen Aspekten.

Der Spiegel des Carnivorenzwerchfells besteht — rein morphologisch gesehen — aus mehreren Arten von Fasern, nämlich aus:

1. homolateralen Hauptfasern,
2. kontralateralen Hauptfasern,
3. Nebenfasern.

Die Hauptfasern stellen Fasern dar, die sich nach beiden Seiten in Muskelfasern fortsetzen. Sie können als die intermediären Zwischen-sehnen von zweibäuchigen Muskeln betrachtet werden. Die Nebenfasern entspringen im allgemeinen mit den Hauptfasern aus der Muskulatur. Sie setzen sich jedoch nicht in einen zweiten Muskelbauch fort, sondern enden frei im Spiegel. Insoweit stimmen meine Ergebnisse besonders mit denen neuerer, humanmedizinischer Autoren (Virno, Heinrich) überein.

### 1. Die homolateralen Hauptfasern

(Abb. 1, 2, 4, 6; H)

sind immer in konstanter Anordnung vorhanden und bilden die eigentliche Grundlage des Zwerchfellspiegels. Sie stellen jeweils die annähernd kürzeste Verbindung zwischen den beiden embryonal getrennt entstehenden Hauptteilen des Zwerchfells, der Pars sterno-costalis und der Pars lumbalis dar.

Wenn sie in den beiden dorsalen Lappen eine leichte dorsolaterale Konkavität aufweisen, so wird diese hervorgerufen und beibehalten durch die Nebenfasern. Ich werde darauf noch näher eingehen.

Es laufen also die Hauptfasern im ventralen Lappen von den Muskelzügen der Pars sternalis und den ventralen Portionen der Pars costalis aus konvergierend zum ventralen Pfeilerende und setzen sich in die Muskelfasern der Crura medialis fort. Auf der rechten Seite, am Übergang vom ventralen in den dorsalen Lappen, erfährt das System eine Unterbrechung durch das transversal gelegene F. v. c. Dieses hat außer eben diesen dorsal und ventral von ihm liegenden Faserzügen seine eigene Begrenzung durch besondere Fasern, die noch eingehend geschildert werden.

Die Hauptfasern im ventralen Lappen verlaufen annähernd radiär gegen ein Centrum hin, das etwas oberhalb der Pfeilerenden am ventralen Ende des Hiatus oes. liegt. (Virno beschreibt ähnliche Verhältnisse beim Menschen!) Die homolateralen Hauptfasern der dorsalen Lappen lassen sich infolge der Anordnung

der Muskulatur in ihrer Richtung nicht auf ein einheitliches Zentrum beziehen. Die Konvergenzpunkte der geraden Fortsetzung beidseitiger Fasern liegen etwa auf einer Linie, die dorsoventral durch den Hiatus oesophagicus verläuft und auf der auch der „Zentralpunkt“ der Fasern des ventralen Lappens liegt.

Die Muskelzüge der Pars sterno-costalis sind gewissermaßen in Hufeisenform um das C. t. angeordnet. Sie zeigen dabei im Gegensatz zu den homolateralen Hauptfasern in den dorsalen Lappen des Spiegels, die meist leicht ventromedial konvex gekrümmt sind (Abb. 1), einen bogenförmigen Verlauf mit ventromedial bis ventralkonkaver Krümmung gegen ihren Ansatz hin. Lediglich die mittleren Züge der Pars sternalis haben einen geraden Verlauf.

Die Muskelzüge des Lumbalteils jedoch ziehen im großen und ganzen in ventrodorsaler Richtung zum sehnigen Aortenring, um dort zu inserieren. Sie zeigen dabei eine gewisse Konvergenz. (Alle diese Krümmungen könnten einen Beitrag zur Bildung der dem Zwerchfell eigenen Wölbungen liefern. Für die Aufrechterhaltung jener Krümmungen innerhalb der Muskulatur dienen wohl die aufgelagerten, mit ihrer Unterlage fest verbundenen Fascien.)

Offensichtlich ist also der Winkel, den die hufeisenförmig um den Spiegel gelegenen Züge der Pars sterno-costalis mit den vertikal gelegenen der Lumbalportion bilden, an den einzelnen Stellen verschieden (Abb. 3, 4). Er wird um so kleiner, je weiter dorsal sich die Muskelpartien befinden und kann bis zu  $110^\circ$  betragen.

Während nun aber die einen Bäuche des digastrischen Systems, die Muskelfasern der Pars sterno-costalis, sich annähernd unter einem Winkel von  $180^\circ$  in die homolateralen Hauptfasern des Sehnenspiegels fortsetzen, liegen die dazugehörigen Muskelbäuche der Pars lumbalis unter entsprechend verschiedenen Winkeln zu diesen.

Es muß, von der funktionellen Seite her gesehen, noch eine andere Art von Fasern im Spiegel vorhanden sein, die diese Grundplatte des homolateralen Hauptfasersystems mit ihren in verschiedenen Richtungen liegenden Muskelbäuchen indifferent verspannt. Bei einer Kontraktion der einzelnen Muskelzüge, die durch die einheitliche Innervation des Nervus phrenicus in allen Teilen des Zwerchfells gleichzeitig erfolgt, würden besondere Spannungen vor allem an jenen Stellen auftreten, an denen sich homolaterale

Hauptfaserzüge unter einem großen Winkel in Muskelfasern fortsetzen. Hernien wären die Folge einer starken Kontraktion des Zwerchfellmuskels. Eine Verspannung jenes Grundsystems ist also unbedingt erforderlich. Diese Verspannung wird nun mittels verschiedener Faserqualitäten erreicht:

mit Sehnen, die dem Hauptfasersystem selbst angehören, sich also an beiden Enden in Muskelfasern fortsetzen (contralaterales Hauptfasersystem),

mit Sehnenfasern, die nur an einem Ende an der Muskulatur inserieren (Nebenfasern),

oder mit solchen Fasern, die nur dem Spiegel aufgelagert sind und keinen direkten Anschluß an die Muskulatur erlangen (Nebenfasern).

Wie bei einem Fesselballon das Haltenetz, so liegt die Mehrzahl dieser Verspannungsfasern auf der Wölbung der Zwerchfellkuppel, also auf der thorakalen Seite. Doch auch auf der abdominalen Seite sind sie vorhanden. Es erfolgt eine gewisse Durchflechtung eines Teiles dieser Verspannungsfasern mit dem homolateralen Hauptfasersystem, die beim Hund besonders auffällig ist. Dem Ganzen wird dadurch eine entsprechende Stabilität verliehen.

## 2. Die kontralateralen Hauptfasern

(Abb. 2, 1, 3, 5, 6; K)

stehen an erster Stelle der verspannenden Fasern. Sie bilden in den dorsalen Lappen mit denen des homolateralen Hauptfasersystems und den daran anschließenden Muskelfasern der Pars lumbalis jeweils ein Kräfteparallelogramm (Abb. 2, 4): Die Fasern des kontralateralen Systems liegen an der Grenze Lumbalmuskulatur-Sehnenspiegel und durchlaufen genau jenen Winkel, die die homolateralen Hauptfasern mit den Muskelfasern der Pars lumbalis bilden. Sich in den ventralen Lappen fortsetzend, durchkreuzen sie sich in ihrem weiteren Verlaufe in einem Sehnenknoten unmittelbar unter den ventralen Enden der Crura medialis, in die die Fasern des homolateralen Hauptfasersystems von ventral und ventrolateral her einstrahlen. Die Fasern gelangen also auf die gegenüberliegende Seite, sie verlaufen „kontralateral“. Dabei erfolgt eine weitgehende Durchflechtung beider Faserqualitäten. Der Kreuzungsknoten zeigt sich einmal stark gebündelt (Abb. 2, 7; Ü), das andere Mal mehr ausgebreitet (Abb. 1 Ü). Dies sind individuelle

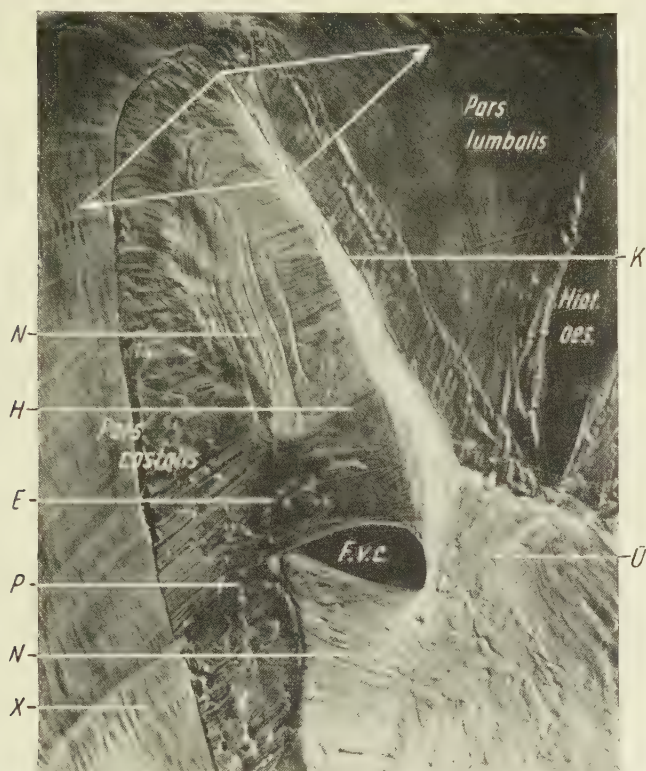


Abb. 2. Thorakale Ansicht des rechten, dorsalen Lappens des Zwerchfellspiegels eines vierjährigen, männlichen Bernhardiners,  $\frac{3}{8}$  nat. Größe. (Ohne Retusche.)

K = extremer Fall der Ausbildung der kontralateralen Hauptfasern. N = Nebenfaser, im dorsalen Lappen kaum ausgeprägt. H = homolaterale Hauptfasern. Ü = Kreuzungsknoten der kontralateralen Hauptfasern. P = Eintrittsstelle des Nervus phrenicus. E = über die eigentliche Grenze des Spiegels vorstoßende Muskelpartie. X = Pleura, im Bereich des Spiegels entfernt. F. v. c. = Foramen venae cavae. Hiatt. oes. = Durchtrittsstelle des Oesophagus.

Links oben das Kräfteparallelogramm, dessen Vektoren die jeweiligen Muskelbündel der Pars lumbalis und der Pars sternocostalis darstellen und dessen Resultante das kontralaterale System bildet.

Eigenheiten, die, wie schon einmal erwähnt, von den verschiedensten Bedingungen abhängen und hier nur ihre Erwähnung finden mögen. Die Bildung des Knotens unterhalb der Lumbalpeiler ist in erster Linie bedingt durch die Lage und Richtung des Systems in den dorsalen Lappen entlang der hinteren Muskelsehnergrenzen, die nach ventral unter einem Winkel von 60 bis 85° konvergieren. Dieser Knoten hat aber auch eine eigene Bedeutung: Die sich in ihm überkreuzenden Sehnenfasern bilden erstens einen besonderen Schutz gegen ein ventrales Einreißen des Hiatus oesophagicus und



Abb. 3. Thorakalansicht des Zwerchfells einer zehnjährigen Deutschen Doggemännlichen Geschlechts  
Abb.  $\frac{1}{2}$  nat. Größe. (Ohne Retusche.)

X = Serosa, im Bereich des Spiegels entfernt. N = extrem ausgebildete Nebenfasern. K = schwächer ausgebildetes kontralaterales System, ganz zurücktretend im oberen Bereich der dorsalen Lappen. C = Anheftung des Hohlvenengekrüses, M = Ansatz des Mediastinums, P = Eintrittsstelle des Nervus phrenicus.

zweitens wird durch ihn die gesamte, radiär zum „ventralen Zentralpunkt“ einstrahlende Sehnenlage entspannt.

Das kontralaterale System gehört morphologisch zu den Hauptfasern, da es sich nach beiden Seiten in Muskelfasern fortsetzt. Während es in den dorsalen Lappen bandförmige Gestalt hat, spalten sich seine Fasern nach der Durchkreuzung im Ventralappen fächerartig auf und finden ihre Fortsetzung in Muskelfasern der gesamten Pars sternalis und costalis ventralis (wie die homolateralen Hauptfasern). Die muskulöse Fortsetzung der Fasern in den dorsalen Blättern ist individuell verschieden. Die Fasern haben oft einen Verlauf, wie ihn Heinrich beim Menschen beschrieben hat: Die Sehnenfasern ziehen bis zu den dorsalen Polen der Lappen und setzen sich dort in Muskelfasern der Pars costalis dor-

salis fort. Einige Fasern können aber auch in gerader Richtung gegen das Trigonum lumbo-costale hinziehen und die Verspannung der dort zusammenstoßenden Muskulatur der Pars costalis dorsalis und des Crus laterale der Pars lumbalis direkt aufnehmen. Sie wirken so wie die Sehnen eines zweifledrigen Muskels. Im allgemeinen jedoch ist jene Muskulatur sehr schwach ausgebildet; die Fascien mit ihren serösen Überzügen aber verhältnismäßig stark, so daß in diesem funktionell geringwertigen Teil jene Überzüge die Aufgabe der Verspannung wohl allein bewältigen.

Das kontralaterale System erhält in seinem ventromedialen Verlauf hauptsächlich Zuschüsse aus den Crura intermedia der Pars lumbalis, manchmal sogar in geringem Maße aus dem noch zu beschreibenden Nebenfasersystem und wird dadurch gegen den ventralen Lappen zu immer stärker. Häufig findet man auch, daß das kontralaterale Hauptfasersystem sich überhaupt nicht in Muskelfasern der Pars costalis dorsalis fortsetzt, sondern nur aus jenen der Pars lumbalis (Crus intermedium) entspringt. (Ich bezeichne die Sehnenfasern trotzdem als kontralaterales System wie Heinrich, sowohl zum Zwecke einer einheitlichen Nomenklatur als auch deshalb, weil sich dieses System jeweils in die gegenüberliegende Hälfte des C. t. fortsetzt und die Mediane überkreuzt.)

In letzterem Falle beginnt das System auch nicht in den dorsalen Lappenspitzen, sondern unter Umständen erst im ventralen Drittel (s. Abb. 3). Eine andere Faserqualität übernimmt dann die Verspannung der oberen Teile, die Nebenfasern. Hier tritt die gleiche funktionelle Wertigkeit beider Systeme besonders klar zutage. Bei manchen Präparaten hat man deutlich den Eindruck eines Übergangs und einer Ablösung des einen Systems durch das andere.

### 3. Die Nebenfasern

(Abb. 1—7; N)

Nebenfasern sind in jedem Zwerchfell vorhanden, jedoch unregelmäßig und in sehr unterschiedlicher Ausbildung. Die Mehrzahl bildet in der Regel in den dorsalen Lappen die Fortsetzung der in das dorsale Drittel der Seitenlappen einstrahlenden Muskelfasern der Pars lumbalis.

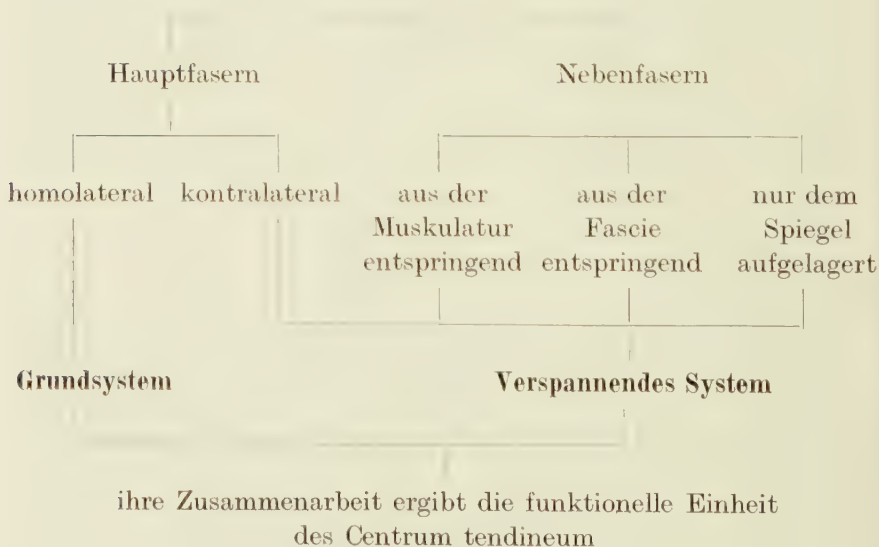
Zunächst geradlinig die Richtung der Muskelfasern fortsetzend, beschreiben sie einen Bogen nach ventral, um dann gegen den

ventralen Lappen hin — in Richtung der Achse des jeweiligen dorsalen, also parallel und mit den Fasern des kontralateralen Systems — zu verlaufen (s. Abb. 1, 3, 6; N). Sie enden noch innerhalb der dorsalen Lappen im Spiegel. Die Nebenfaser sind in der Mehrzahl thorakal, jedoch auch abdominal den homolateralen Hauptfasern aufgelagert, mitunter in kräftigem Ausmaß. Es erfolgt dabei wieder eine teilweise Durchflechtung beider Systeme. Auf der abdominalen Seite des rechten dorsalen Lappens weichen sie von dem eben geschilderten allgemeinen Verlauf ab: Sie helfen dort die laterale und ventrale Begrenzung bzw. die Verspannung des F. v. c. bilden und werden noch eingehend behandelt.

Beginnt nun das kontralaterale System nicht in den dorsalen Seitenlappenpolen, sondern weiter ventral, wie in dem oben geschilderten Falle, so gewährleistet eine jeweils besonders kräftig und gleichmäßig ausgebildete Nebenfaserschicht die notwendige Verspannung. Ist das kontralaterale System andererseits vollständig und kräftig bis zu den dorsalen Lappenenden entwickelt, so treten die Nebenfaser zurück (Abb. 2, 3).

Es gibt auch Nebenfaser, die aus den Fascien entspringen und sich in den Spiegel einordnen, und solche, die den Anschluß an Muskelfaser verloren haben bzw. von vornherein keinen solchen

#### Morphologische Bestandteile des Zwerchfellspiegels



besaßen. Letztere sind vor allem im ventralen Lappen vorhanden. Dort befindet sich auf der thorakalen Seite ein gewisses Netz von oft ausgesprochen transversalen Fasern, die im Spiegel beginnen und endigen und für eine transversale Verspannung der Hauptfasern sorgen. Mitunter haben diese Nebenfasern eine komplizierte und scheinbar völlig unregelmäßige Anordnung; teils sind sie zahlreich vorhanden, teils in geringem Maße. Teilweise findet man, daß jene Fasern mit ausgesprochen transversalem Verlauf Anschluß an die rechte Costalpartie der Muskulatur finden, also ventral und parallel zur unteren Begrenzung des E. v. c. liegen (Abb. 2, 3). In jedem Falle liegen sie auf der thorakalen Seite des ventralen Lappens, also auf der Zwerchfellwölbung. Sie dürften mit den „transversalen Scheinbögen“ des menschlichen Zwerchfells (Heinrich) identisch sein.

Besondere Beachtung verdient das Gebiet der dorsalen Lappenspitzen. Infolge der hufeisenförmigen Anordnung der Costalmuskulatur wird der Winkel, den diese mit der von dorsomedial herziehenden Lumbalpartie bildet, gegen das Trigonum lumbo-costale zu immer spitzer. Ebenfalls wird die sehnige Verbindungsstrecke gegen das Ende der Lappenspitzen zu immer kürzer, die Muskelzüge treten immer näher zusammen (und werden schwächer). Aus jener mehr und mehr spitzwinkelig verlaufenden Muskulatur entspringen einerseits das kontralaterale System, andererseits die Nebenfasern. Außerdem ist festzustellen, daß die Fascien (Fascia endothoracica und transversa) gerade in den dorsalen Spitzen eine innige Verbindung mit dem Spiegel eingehen. Die Fascia endothoracica ist in jenen Bereichen besonders kräftig ausgebildet. Interessant ist die Faserichtung dieser Überzüge, die, soweit sie makroskopisch feststellbar ist, im rechten Winkel zu den Muskelfasern verläuft: die collagenen Fasern der Fascien zeigen gewissermaßen einen bogenförmigen Verlauf um die dorsalen Lappenspitzen. Gerade diese Fascien liefern sicher auch ihren bestimmten Beitrag zur Festigung und Verspannung des Muskel-Sehnen-Systems.

Die Fasern des homolateralen Systems, die sich einerseits geradlinig in die Costalmuskulatur fortsetzen, andererseits einen um so größeren Winkel mit der Lumbalmuskulatur bilden, je weiter dorsal sie sich befinden, beschreiben oft einen dorsalkonkaven Bogen. Dadurch wird ein zu krasser Übergangswinkel von der Sehnenfaser zur Muskulatur vermieden. Diese Eigenheit hat, wie schon erwähnt, vielleicht auch eine Bedeutung für die Bildung der Zwerchfell-

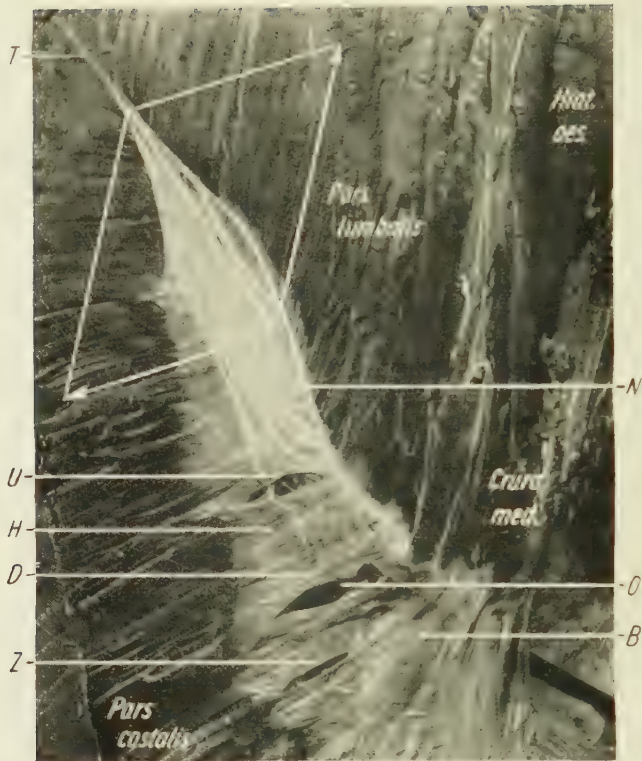


Abb. 4. Abdominalansicht des linken Hornes des Zwerchfellspiegels einer fünf Jahre alten, männlichen Deutschen Dogge,  $\frac{2}{3}$  nat. Größe. (Ohne Retusche) Das Peritoneum ist entfernt.

N = abdominale Nebenfasern. Sie verlängern sich zum Teil in das bindegewebige Streifen, das zum Trig. lumbocostale hinzieht (T). Einige der Fasern bilden die Spannschnen für ein kleines Foramen (U), das nur bei diesem einen Präparat vorhanden war und zum Durchtritt von subserös gelegenen Gefäßzweigen diente. Interessant ist die Y-förmige Aufzweigung der Faserbündel an der Öffnung, durch welche diese gespannt wird. B = Sehnenbrücke, unter der die Vena phrenica sin. verläuft (Sonde). O = jene dem F. v. c. homologe Stelle, die intra vitam bindegewebig verklebt ist. Der dorsale Teil ist zu einem Bündelchen verdickt (D). Z = Kunstprodukt. H = homologale Hauptfasern. Hiat. oes. = Speiseröhrenschlitz. Der Winkel, den die beiden Hauptmuskelpartien (Pars lumb. und Pars sternocost.) miteinander bilden, tritt auf der Abbildung besonders deutlich hervor. (Das verspannende kontrakt. System liegt thorakal.)

kuppeln. Bewerkstelligt und bei der Muskelkontraktion aufrecht-  
erhalten wird die Krümmung im wesentlichen durch das Neben-  
fasersystem. Zeigt dieses eine ausgeprägte Ausbildung, besonders  
am Rande zur Costalmuskulatur, so können Fasern des homo-  
lateralen Systems im dorsalen Bereich der Seitenlappen in ihrem  
Verlauf auch einen gewissen Winkel zu den Costalmuskelzügen  
bilden, doch ist dies nicht die Regel.

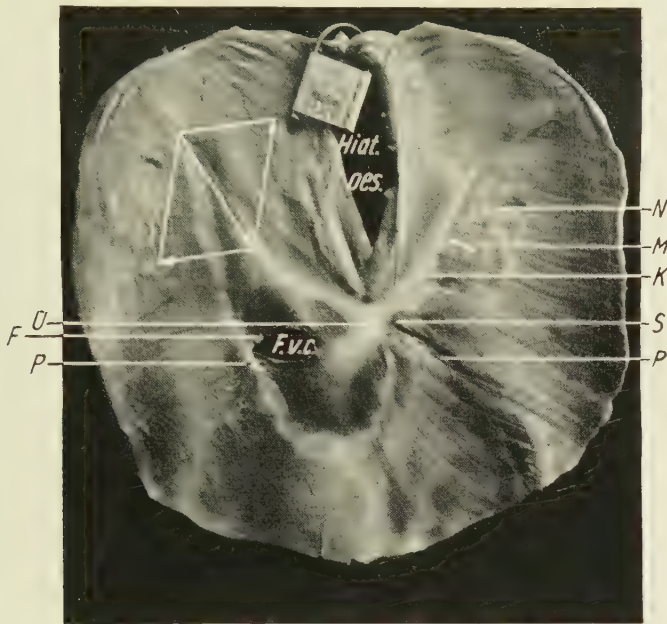


Abb. 5. Thorakale Zwerchfellansicht einer männlichen, drei Jahre alten Hauskatze.  $\frac{4}{5}$  nat. Größe. (Ohne Retusche)

Das Centrum tendineum ist sehr dünn und nach rechts verlagert. Die Muskulatur greift im Bereich der dors. Lappen unter der dünnen, thorakalen Sehnenhaut weit über die eigentliche Spiegelgrenze vor (M) und läßt abdominal nur einen schmalen Streifen frei. Kontralaterales System (K) und Nebenfaser (N) „herrschen vor“. Ü = Überkreuzungsknoten des kontralateralen Systems. S = in den Spiegel vordringende Muskelspitze an der Grenze vom linken dorsalen Lappen zum ventralen. Die beim Hunde vorhandene Einstrahlung der Muskulatur in die dorsocraniale Lippe des Foramen venae cavae (F. v. c.) fehlt bei der Katze (F). P = Eintrittsstelle des Nervus phrenicus.

Die großen Unterschiede in der Ausbildung der Nebenfaser, wie überhaupt die morphologischen Differenzen des ganzen C. t. bei den verschiedenen Individuen hängt wohl von den verschiedensten Faktoren ab, wie von der individuellen Beanspruchung des Atemmuskels, vom Gegendruck der Baueingeweide, von der Ausbildung der Kuppeln des Zwerchfells, der Ausbildung der Muskulatur und der verschiedenen Kontraktionskraft usw.

### Besonderheiten bei der Katze

Das Centrum tendineum des Zwerchfells der Katze zeigt im Prinzip den gleichen Faserverlauf wie das des Hundes, wenn sich auch infolge der etwas veränderten Form des Spiegels einige Besonderheiten ergeben. Die Fasern sind infolge der geringen Größe des

Objektes wesentlich feiner und dünner als beim Hunde. Oft hat man den Eindruck einer strukturlosen Haut (s. Abb. 5). Zum Teil wurde deshalb für die Untersuchung die Lupe benutzt.

Das wichtigste Merkmal ist das Hervortreten der verspannenden Fasern, also der kontralateralen Haupt- und der thorakalen Nebenfasern gegenüber dem schwachen homolateralen Hauptfasersystem, das in den dorsalen Lappen zum großen Teil durch die abdominalseitig weit gegen die Lumbalportion vordringende Costalmuskulatur ersetzt wird (vgl. Abb. 5 M.). Die Fasern des kontralateralen Systems entspringen bei der Katze nicht nur aus dem obersten Drittel der Muskulatur der Pars costalis, sondern sogar meist über die Hälfte des lateralen Randes der dorsalen Lappen herab. Die (thorakalen) Nebenfasern konzentrieren sich oft am lateralen Rande der dorsalen Spiegellappen und bilden so ein Analogon zu dem kontralateralen System. Sie können sogar bis in den ventralen Lappen hineinreichen und sich an der Bildung des Sehnenknotens beteiligen (s. Abb. 5, N.). Die gleiche funktionelle Wertigkeit des kontralateralen Hauptfasersystems und der Nebenfasern wird hier wieder besonders offenbar.

Das gut ausgebildete, weitgehend auf der Muskulatur liegende Nebenfasersystem unterstützt also die Aufgabe des kontralateralen Systems und vermindert die Spannung des im „Sehnenstreif“ der dorsalen Lappen auftretenden Winkelzuges.

Bezüglich der das F. v. c. formenden Fasern und der Nebenfasern im ventralen Lappen ergeben sich kaum Abweichungen vom C. t. des Hundezwerchfells.

### Öffnungen im Centrum tendineum

Die den muskulösen Teil des Zwerchfells durchlaufenden „Kanäle“ haben weitgehende Bewegungsfreiheit und sind durch die an elastischen Fasern sehr reichen Übergangsmembranen (Membrana phrenico-oesophagica und phrenico-aortica) unabhängig von der Zwerchfellbewegung. Anders liegen diese Verhältnisse beim Durchtritt der Hohlvene durch den Sehnen Spiegel. Die Hohlvene ist durch Bindegewebe fest mit den Lippen des F. v. c. verbunden. Ein Sehnenzug, der abdominalseitig von der Sternocostalmuskulatur kommend, in der ventrocaudalen Lippe verläuft (s. Abb. 1, 6; Z), geht in voller Stärke in die Adventitia der Vena cava über. Er sorgt neben der bindegewebigen Befestigung zusätzlich für eine absolute Fixation der Vene am Spiegel.

In Form von zwei Lippen (Abb. 6, D und C) legen sich die das F. v. c. bildenden Teile des Spiegels an die Wand der Hohlvene an (Pancrazi). Bei der stumpfen Entfernung der Hohlvene ergab sich grundsätzlich immer die gleiche, eigenartige Form des eigentlichen Loches. Dies ist bedingt durch die Lage und Anordnung der Sehnen- und Muskelfasern, die das Foramen begrenzen.

Die dorsocraniale Lippe liegt der schräg ansteigenden Hohlvene auf. Die gegen das Lumen zu immer dünner und feiner werdenden, transversalen Sehnenfasern gehören den homolateralen Hauptfasern an.

Bezüglich der Einstrahlung von Costalmuskulatur in die dorsocraniale Lippe beim Hund ist folgendes zu sagen: der Nervus phrenicus tritt als einheitlicher Nervenstrang an die Zwerchfellmuskulatur und unter einen Muskellappen, um sich dort sofort in seine Hauptäste aufzuteilen. Dieser Muskellappen befindet sich also auf der thorakalen Seite und ist im Bereiche des Nerveneintritts nur durch lockeres Binde- und Fettgewebe mit der übrigen Muskulatur verbunden. Seine Fortsetzung gegen den Spiegel zu bildet auf



Abb. 6. Abdominalansicht des rechten, dorsalen Lappens des Zwerchfells eines siebenjährigen, männlichen Schäferhundes.  $\frac{3}{2}$  nat. Größe. (Ohne Retusche.)

V = verspannende Fasern des Foramen venae cavae (F. v. c.). N = Nebenfasern. K = Teile des kontralateralen Systems. H = homolaterale Hauptfasern. B = rechter Rand der Sehnenbrücke aus homolateralen Hauptfasern, unter die sich die Vena phrenica sinistra hinzieht. Z = auf die Hohlvenenwand übergreifender Sehnenzug. R = Spalte zwischen ventrocaudaler und dorsocraniale Lippe des F. v. c., in der die Vena phrenica dextra gegen die Muskulatur zu verläuft. X = Peritoneum.

der rechten Seite des Zwerchfells beim Hund den muskulösen Teil der dorsocranialen Lippe des F. v. c. (Abb. 7, 2, 1; E. 6 D).

Die ventrocaudale Lippe (Abb. 6 C) wird nicht allein von Fasern des homolateralen Systems gebildet, sondern ist eine weitgehend eigene Konstruktion. Sie ist wesentlich stabiler und stärker als die obere Lippe. Dies deutet auf eine starke, funktionelle Beanspruchung hin. An ihrer Bildung beteiligen sich außer den homolateralen Hauptfasern abdominalseitig liegende Züge von Verspannungsfasern mit charakteristischem, ziemlich konstantem Verlauf (Abb. 6 V). Vom mittleren Teil der Lumbalmuskulatur aus ziehen Nebenfaser — zunächst in Richtung des homolateralen Hauptfasersystems laufend — gegen die Pars costalis zu. Nachdem sie meist einen Zuschuß von einigen Nebenfaserzügen aus dem dorsalen Drittel der Lumbalportion erhalten haben, wendet sich der größte Teil von ihnen stark gebündelt im Bogen ventromedial — unter weiterem Zuschuß von Fasern aus der Costalmuskulatur — und bildet somit die untere Lippe (ein geringer Teil setzt sich des öfteren geradlinig entlang der Spiegelgrenze in den ventralen Lappen fort).

Von links kommend verstärken die Züge des kontralateralen Systems das Ganze. Fasern des rechten Schenkels des kontralateralen Systems greifen wirbelartig in die untere Lippe ein und bewirken so medial einen abgerundeten Bogen des Foramens, während lateral infolge der genannten Anordnung thorakal überstehender Muskellappen, abdominale Verspannungsfaserbündel, immer ein spitzer Winkel entsteht.

In jenem Winkel (Abb. 6 R) verliert sich die Vena phrenica dextra zwischen den Muskellappen und dem Sehnenbogen. Die Form jenes halbkreisförmigen Bogens, in dem die Hohlvene gleichsam aufgehängt ist, wird aufrechterhalten durch die genannten jeweiligen Zuschüsse von Nebenfaser. Diese können dabei eine doppelte Bedeutung erlangen: so dienen die aus dem dorsalen Bereich des rechten Hornes herabziehenden Nebenfaser, die mit denen auf der thorakalen Seite gleichlaufen, nicht nur zur „Aufhängung“ des Sehnenbogens der ventrocaudalen Lippe, sondern sie unterstützen gleichzeitig die das homolaterale Hauptfasersystem verspannenden thorakalen Nebenfaser.

Interessant ist die Tatsache, daß die Sehnenfasern zur eigentlichen Aufhängung und Fixation der Hohlvene rein abdominal liegen. Dies erfährt seine Erklärung in der funktionellen Beanspruchung.

Das F. v. c. stellt weder den Kulminationspunkt der Zwerchfellwölbung noch einen Fixpunkt dar, wie man früher annahm (Sußdorf) und wie heute noch in Lehrbüchern zu lesen ist. Jene Autoren gingen davon aus, daß die Hohlvene einerseits mit dem Herzen, andererseits mit dem Zwerchfellspiegel fest verbunden ist und so kaum Exkursionen des F. v. c. erlaubt. Untersuchungen über den histologischen Bau der thorakalen Hohlvene an Hunden und Katzen (Franklin, Tenschert), ferner an allen Haustieren (Bongartz) ergaben, daß sich die Möglichkeit einer elastischen Längsdehnung des thorakalen Teiles der Vena cava caudalis bei tiefer Inspiration aus dem Bau der Venenwand geradezu ableiten läßt. Tenschert wies an lebenden Hunden und Katzen durch röntgenologische Kontrolle des F. v. c. während forcierter Atmung nach, daß beträchtliche Exkursionen des Hohlvenenlochs und damit eine entsprechende Dehnung und Zusammenziehung der Hohlvene stattfinden. Nach Franklin kann die Verlängerung des Gefäßes in der Inspiration neun Achtel ihrer Länge bei Expiration betragen. Auch in der Expiration steht der thorakale Teil der Hohlvene infolge des Muskeltonus und infolge seiner eigenartigen Konstruktion noch unter Zugspannung.

Es ist offensichtlich, daß jene konstant vorkommenden, rein abdominal liegenden Verspannungsfasern in ihrer Anordnung jenen Zugspannungen der schräg vom Herzen zur Leber ansteigenden Hohlvene entgegenwirken und eine feste Fixierung des Gefäßes am Zwerchfell gewährleisten.

Eine eigene Bedeutung haben diese Verhältnisse nun für den Kreislauf. Franklin wies nämlich durch physiologische Versuche entsprechend den Längenänderungen der Hohlvene im thorakalen Bereich Volumenänderungen während der In- und Expirationsphase nach. Es erfolgt bei der inspiratorischen Dehnung des bereits im Ruhezustand der tiefsten Expiration unter Zugspannung stehenden Gefäßes eine Volumenabnahme. (Nach Franklin hat die thorakale Hohlvene des Hundes ihr größtes Volumen bereits im Zustand der tiefsten Expiration.) Mit dieser Erscheinung, das heißt mit der Volumenzunahme in der Expiration und mit der damit verbundenen Abnahme der Stromgeschwindigkeit dürfte die Erscheinung des Pulsus respiratorius, insbesondere die „respiratorische Puls-Arrhythmie des Hundes“ zusammenhängen. Bekanntlich setzt bei Hunden häufig der Herzschlag während der Expi-

ration kurz aus, um während der Inspiration vermehrt aufzutreten. Der thorakale Hohlvenenabschnitt sammelt gewissermaßen während der Expiration das Blut (Volumen-Zunahme), um es bei der Inspiration (Volumen-Abnahme) mit vermehrter Geschwindigkeit gegen das Herz vorzutreiben. Unterstützend wirkt dabei zusätzlich der „Druck auf den Blutschwamm Leber“ (Heinrich. Wenkebach).

Inwieweit Säugetiere einen ausgeprägten Pulsus respiratorius aufweisen, dürfte also von dem Zeitpunkt im Atmungsablauf abhängen, zu dem die Hohlvene ihr größtes Volumen hat. Nach Franklin liegt dieser Zeitpunkt bei den einzelnen Tierarten verschieden.

Bezüglich jener von Blair am menschlichen Zwerchfell gefundenen linken Venenforamina, die homolog und symmetrisch zu jenem der Vena cava auf der linken Seite im Sehnenspiegel am Übergang vom ventralen Lappen zum dorsalen liegen sollen haben meine Untersuchungen am Hundezwerchfell folgendes ergeben:

Infolge der etwas veränderten Gegebenheiten im C. t. des Hundes gegenüber dem menschlichen Zwerchfellspegel muß man bei einer hieraufbezüglichen Untersuchung auch von anderen Voraussetzungen ausgehen. Das F. v. c. liegt direkt an der Grenze Muskulatur—Sehnenspiegel. Die Fasern der dorsocranialen Lippe bilden die Fortsetzung jenes thorakal liegenden, dorsal in die Muskulatur übergehenden Muskellappens, der ventral mit der übrigen Muskulatur nur durch lockeres Binde- und Fettgewebe verbunden ist, und unter den der Nervus phrenicus tritt und dort seine Aufteilung vollzieht (Abb. 2, 7; P).

Von der Hohlvene spaltet sich direkt im Bereich des Foramens die Vena phrenica dextra ab und läuft ebenfalls unter jenen Muskellappen, um sich dort ebenso wie der Phrenicus aufzuzweigen. Hier liegt also ein gewisser Knotenpunkt, zumal sich an derselben Stelle auch noch ein von dorsal kommender, abdominal schräg über die obere Lippe laufender Ast der Arteria phrenica abdominalis aufzweigt (Abb. 4).

Bezüglich jenes Knotenpunktes finden wir auf der linken Seite genau dieselben Verhältnisse. Homolog zur rechten Seite ist auch der Muskellappen angeordnet (Abb. 7 W). In den meisten Fällen



Abb. 7. Thorakale Seite des Zwerchfells eines fünfjährigen Schnauzerbastards,  $\frac{1}{2}$  nat. Größe. Die Serosa ist entfernt. (Ohne Retusche.)

F. v. c. = Foramen venae cavae, Hiatt. oes. = Speiseröhrenschlitz, N = Nebenfasern, Ü = gut ausgebildeter Sehnenknoten des kontralateralen Hauptfasersystems. Der Muskellappen (E), der sich auf der rechten Seite in die obere Lippe des F. v. c. fortsetzt und unter den bei (P) der Nervus phrenicus tritt, ist ventral nur durch lockeres Binde- und Fettgewebe mit der übrigen Muskulatur verbunden. Dorsal geht er in diese über. Er ist auf der linken Seite gleichermaßen vorhanden (W). Die an ihn anschließenden Sehnenfasern bilden eine ähnliche Lippe wie am F. v. c. Die Überlappung (O) ist jedoch bindegewebig mit den darunterliegenden Fasern verbunden, so daß kein offenes Lumen entsteht.

ergab sich, daß das lockere Binde- und Fettgewebe unter dem Muskellappen sich auch unter jene Fasern fortsetzt, die, den homolateralen Hauptfasern angehörend, den Anschluß an den Muskellappen darstellen. Bei stumpfer Durchtrennung jenes lockeren Bindegewebes wird gewissermaßen ein Foramen sichtbar (Abb. 4, 7; O). Es ist analog dem F. v. c., steht allerdings bezüglich seiner Größe in keinem Verhältnis zu jenem. Seine beiden Lippen liegen aufeinander und bilden in der Regel kein offenes Lumen. Dies liegt im wesentlichen auch an der abdominal befindlichen Sehnenbrücke (Abb. 4 B, Sonde!), die zum Teil über jenem Gebiet liegt, und unter der die Vena phrenica sinistra von rechts nach links verläuft. (Diese Sehnenbrücke kommt konstant vor. Ihre Bestandteile sind homolaterale Hauptfasern, die vom Pfeilerende zur linken Pars sterno-costalis ziehen.)

Der aus dorsaler Richtung kommende Gefäß- und Nerventrakt (die oben genannte Arterie mit begleitenden Venen und Nervenästen) liegt zunächst abdominal wie alle stärkeren Gefäße und Nerven, gelangt jedoch dann in jene bindegewebig verklebte Öffnung und mit der Vena phrenica sinistra unter dem thorakal

liegenden Muskellappen zu dem „Knotenpunkt“, der Aufzweigungsstelle der Gefäße und des Nerven (Abb. 4).

Die Öffnung selbst stellt keine besondere Konstruktion dar (dies ist ja funktionell auch gar nicht nötig); ihre Lippen bestehen einfach aus homolateralen Hauptfasern, die lediglich zu einem Bündelchen verdickt sein können. Im Grunde herrschen die gleichen Verhältnisse wie auf der rechten Seite, nur daß eben durch jene beim erwachsenen Tier rudimentäre Öffnung keine der Vena cava homologe Vene aus dem Abdomen in den Thorax führt und dieselbe auch von Serosa beiderseits bedeckt ist.

Ohne Zweifel jedoch ist diese Stelle mit jenem Foramen des menschlichen Zwerchfells identisch, über das Blair in Wort und Bild berichtet und durch das auf einem frühen Embryonalstadium die linke der paarigen Venae revehentes hepatis von der Leber zum Sinus venosus führt. Während der vergrößerte obere Teil der rechten zu jenem Teil der Hohlvene wird, der durch das Zwerchfell tritt, obliteriert die linke etwa zu jenem Zeitpunkt und ist in ausgewachsenen Individuen nicht mehr oder höchstens rudimentär vorhanden.

### Muskelbündel im Bereich des Centrum tendineum

(Abb. 1 A)

Ebenso wie Heinrich, Blair, v. d. Hellen u. a. beim Menschen, Haberlah und Bertelli bei Haussäugetieren (ausführliche Literaturangaben geben v. d. Hellen und Haberlan), fand ich im Bereiche des C. t. des Hundezwerchfells Einlagerungen von Muskulatur. Beim Hunde kamen sie in etwa 25% der Fälle vor, bei der Katze dagegen konnte ich keine solchen Einlagerungen feststellen.

Diese Muskelbündel lagen teils vollkommen isoliert im Sehnen Spiegel, teils stellten sie die abnorme Fortsetzung des muskulösen Teils des Zwerchfells — und zwar der Pars costalis — in dem Spiegel dar. Ähnlich wie Blair und v. d. Hellen, fand ich oft mehrere (bis zu drei) Muskelbündel in einem einzigen Präparat. In allen Fällen setzten sie sich in Sehnenfasern normaler Lage fort. Ich fand sie im wesentlichen im ventralen Spiegellappen, bei einem vierjährigen, weiblichen Vorstehhund auch drei, sich überkreuzende Bündelchen dorsomedial vom F. v. c. im rechten dorsalen Blatt. Im linken dorsalen waren in keinem Falle irgendwelche muskulösen

Einlagerungen vorhanden. Die Bündelchen präsentierten sich teils auf der thorakalen, teils auf der abdominalen Seite des C. t., und zwar immer als muskulöse Zwischenstücke von Sehnenfaserbündeln des Spiegels. Da der Sehnenspiegel an und für sich von geringer Stärke ist und teilweise nur aus einer Faserlage besteht, zeigt sich ein Bündel oft sowohl von der abdominalen als auch von der thorakalen Seite gleich gut: In dem kleinen Bereich eines solchen Bündelchens ist das C. t. in seinem ganzen Durchmesser muskulös. Bei einem solchen, etwa ein Quadratzentimeter großen Bündelchen im C. t. des Zwerchfelles eines achtjährigen Schäferhundes, das etwa in der Medianlinie des unteren Drittels des ventralen Lappens lag, konnte ich sogar eine eigene Versorgung mit besonderen Blutgefäßen aus der Muskulatur der Pars sternalis feststellen.

Bei meinen Untersuchungen ergaben sich einige bevorzugte Stellen für muskulöse Einlagerungen. Diese waren:

- a) die ventrale Hälfte des ventralen Blattes des C. t. Muskelbündels in diesem Bereich wurden bei Schäferhund, Foxterrier und Dackel gefunden. Die Bündel waren durchschnittlich nicht größer als ein Quadratzentimeter, auch bei großen Hunden, und verliefen als Teilstücke der Sehnenfasernzüge, die von der Pars sternalis zum medialen Pfeilerende ziehen (bzw. als Teile der Sehnenfasern des kontralateralen Hauptfasersystems) in mehr oder weniger dorsoventraler Richtung. Je nach Stärke des Sehnenspiegels und des Muskelbündels selbst lag dieses abdominal (unter dem Peritoneum), thorakal (unter der Pleura) bzw. war der Sehnenspiegel, wie schon erwähnt, in diesem Bereich vollkommen muskulös.
- b) Eine weitere bevorzugte Stelle für abnorme Muskelbündel war das Gebiet um das F. v. c. Wie schon beschrieben, ist die dorsocraniale Lippe des F. v. c. beim Hunde zur Hälfte muskulös. Diese Einstrahlung der Pars costalis ist jedoch normalerweise bei jedem Hund zu finden und stellt ein Art-charakteristikum dar (Pancrazi). Es ist deshalb nicht als abnorm anzusehen.

Lateral vom F. v. c. fand ich bei einem vierjährigen, weiblichen Schäferhund ein 5 mm breites und 2 cm langes Bündel als muskulöses Teilstück der Sehnenfiguration der lateralen Begrenzung des F. v. c. (s. dort). Ventral des F. v. c. zeigte sich in drei Fällen an derselben Stelle eine mehr oder weniger

quadratische Muskelfläche (Abb. 1 A). Bei einem vierjährigen und einem achtjährigen männlichen Schäferhund war sie etwa  $25 \times 25$  mm groß, bei einem siebenjährigen, weiblichen Foxterrier etwa  $15 \times 15$  mm. In den beiden ersten Fällen bestand dieses quadratische Muskelbündel aus mehreren Schichten mit verschiedener Faserichtung. Abdominal lagen die Muskelfasern in nahezu dorsoventraler Richtung; lateral gleichermaßen als muskulöses Teilstück der Sehnenzüge der lateralen Begrenzung des F. v. c., medial jedoch als Zwischenstück des Sehnenzuges, der, von der Pars sternalis kommend, in die Adventitia der Hohlvene einstrahlt. Darunter fanden sich einige, zu den genannten senkrecht liegende Muskelfaserzüge, die die Fortsetzung der Pars costalis darstellten und sich sehnig in den Spiegel als ein Teil der zum Knoten ziehenden Fasern des kontralateralen Hauptfasersystems fortsetzten. Auf diesen letztgenannten Muskelfaserzügen lagen — jetzt thorakalseitig gesehen — Sehnenfasern des eben genannten kontralateralen Hauptfasersystems, die erst einige Millimeter von der normalen Muskel-Sehnen-Grenze an, sich im Bereich des quadratischen Muskelbündels muskulös zeigten. Bei dem Foxterrier lag das Bündel ventral des F. v. c. und rein abdominal im Zuge der Sehnenfasern dessen lateraler Begrenzung und bestand nur aus einer Lage.

Eine besondere Muskelabnormität fand ich bei einem fünfjährigen, männlichen Schäferhund. Ein etwa 5 mm breites und 2 mm dickes Muskelbündel entsprang direkt unter der Eintrittsstelle des linken Phrenicus aus der Pars costalis und setzte sich in das Mediastinum fort. In etwa 1 cm Abstand vom Zwerchfell in dorsaler Richtung verlaufend, fächerte sich ein Teil dieses Muskelzuges auf, um sich entlang der Ansatzlinie des Mediastinum an der Grenze zwischen linkem dorsalen und ventralem Blatt anzuheften. Der andere Teil verließ das Mediastinum direkt am ventralen Ende des Hiatus oes. und strahlte nach etwa 3 cm Verlauf unter der Pleura an der Grenze zwischen Crus mediale sinistrum und Crus intermedium in die Pars lumbalis ein. An dieser Stelle möchte ich auch das Präparat des Zwerchfells eines dreijährigen weiblichen Dackels erwähnen, bei dem die Muskulatur der Pars sternalis vollständig fehlte, und die Scheidewand zwischen Thorax und Abdomen an dieser Stelle im wesentlichen nur von der Fascia transversa, der Pleura und dem Peritoneum gebildet wurde. Die Bindegewebs-

fasern der Fascie waren kräftig entwickelt. Vom C. t. her strahlten nur einige wenige Sehnenfasern in diesen Bereich ein.

Mit der sich ergebenden Frage nach Ursache und Zweck der accessorischen Muskelbündel im C. t. hängt eng zusammen die Frage nach der Entstehung des Sehnenspiegels, bzw. nach der sog. „Muskularisierung“ des Zwerchfells. Der Ursprung der Zwerchfellmuskulatur ist wohl bis heute noch nicht endgültig geklärt. Einerseits soll sie auf Grund der Innervation vollständig dem dritten bis fünften Halsmyotom entstammen (Broman, Fischel, Bonnet u. a.). Andererseits suchen andere Forscher ihren Ursprung direkt im omnipotenten Mesenchym (Zietschmann, Körner). Nach Zietschmann-Krölling (1955) soll die Zwerchfellmuskulatur teils von Myotomen abstammen, zum größeren Teil aber aus einem Vormuskelblastem, also direkt aus dem Mesenchym.

Wie dem auch sei, jedenfalls wird das ursprünglich bindegewebige, primitive Zwerchfell, das seine Anteile bezüglich seiner Entwicklung hauptsächlich von der cranialen Schicht des Septum transversum, ferner von der Pleuroperitonealmembran und vom Mesoesophageum erhält (Brand), „muskularisiert“ (von quergestreifter Muskulatur durchsetzt).

Über die Entstehung des von Muskulatur freien, zentralen, sehnigen Teiles des definitiven Zwerchfells herrschen dabei wieder zwei verschiedene, grundlegende Ansichten. Nach Broman soll in einem sehr frühen Embryonalstadium (z. B. bei einem 25 mm langen menschlichen Embryo) die Muskulatur überall im Zwerchfell ausgebreitet sein. Das C. t. soll in der Folge durch partielle Atrophie dieser Muskulatur und dessen Umwandlung in Sehngewebe, also sekundär entstehen. Broman erklärt damit das „nicht seltene, anomale Vorkommen von Muskelbündeln im C. t. des Menschen und anderer Säugetiere“. Ferner sei diese Entstehungsweise des Spiegels der Grund, daß jener bei gewissen Säugern (Talpa, Wale, Musteliden) vollständig fehlen könne.

Diese Anschauung über die Entstehung des C. t. findet man in der Folge auch in den Lehrbüchern der Embryologie (Zietschmann u. a.). Dagegen steht jedoch eine sehr ausführliche Arbeit von Körner, der sich gegen Bromans Theorie wendet und nach dessen Untersuchungen an Embryonen von Schwein, Meerschweinchen und von der Maus das sehnige C. t. durch Wachstum und Vergrößerung der zentralen Abschnitte des primitiven, bindegewebigen Zwerchfells, also primär aus dem Mesenchym ohne vorherige,

totale Muskularisierung entsteht. Körner fand bei seinen Embryonen nie ein völlig muskulöses Zwerchfell. Er führt die Beobachtung von Broman, die sich auf die Untersuchung eines einzigen menschlichen Embryos gründet (!), auf eine individuelle Varietät zurück. Auch haben jene Tiere wie *Talpa*, Wale und Musteliden nicht ein definitiv völlig muskulöses Zwerchfell, sondern wohl in jedem Falle ein C. t., wenn es auch nur sehr schmal, bzw. strichförmig ist (Panerazi). Schon rein mechanisch muß der Zwerchfellmuskel eine zentrale Sehnenverspannung besitzen, da die Muskulatur von allen Seiten gegen das Zentrum hin einstrahlt.

Die Muskulatur der Pars sterno-costalis entwickelt sich nach Körner jeweils aus einer „Vormuskelmasse“ in der Umgebung des Eintritts des Nervus phrenicus. Ob die der Pars lumbalis aus eben dieser Vormuskelmasse oder aus einer eigenen entsteht, konnte er nicht feststellen. Jedenfalls entwickeln sich Muskulatur und Sehngewebe unabhängig voneinander. Bei der Maus, die ein verhältnismäßig schmales C. t. hat, konnte er zudem nachweisen, daß zwar die Muskulatur im Laufe der embryonalen Entwicklung gegen den Spiegel vorwächst, jedoch nicht, um wieder zu atrophieren, sondern um vielmehr nur die endgültige, schmale Form des C. t. bei dieser Tierart entstehen zu lassen.

Nach Levi ist beim menschlichen Zwerchfell der Unterschied in der Oberflächenausdehnung des muskulösen und des sehnigen Teils in der ersten Zeit der Entwicklung nicht sehr ausgeprägt, während im weiteren Verlaufe das Wachstum der Gesamtoberfläche vor allem zugunsten der Muskulatur geschieht. In der letzten Entwicklungsphase soll deren Ausdehnung ihr größtes Ausmaß erreichen. Auch diese Ergebnisse von Untersuchungen, die an 15 verschiedenaltigen menschlichen Föten gemacht wurden, sprechen gegen die Theorie Bromans.

Zu diesem Problem schreibt Brand (1949):

„Von der Peripherie her wächst nun der Zwerchfellmuskel in diesen cranialen Abschnitt des Septum transversum vor, erreicht aber bei diesem Vorwachsen nicht das Zentrum der Platte, welches daher frei von Muskelgewebe ausgespart bleibt. Das hier liegende, embryonale Mesenchym differenziert sich in das straffe Centrum tendineum des Zwerchfells aus.“

Das C. t. entsteht also — aller Wahrscheinlichkeit nach — primär aus dem Mesenchym und nicht sekundär durch Muskel-

atrophie bzw. Umwandlung von Muskel- in Sehnenfasern. In letzterem Falle würden die Muskelbündel im Spiegel lediglich Rudimente einer auf einem frühen Embryonalstadium atrophierenden Muskulatur darstellen. In ersterem Falle lassen sie sich ohne weiteres mit der Omnipotenz des Mesenchyms erklären.

V. d. Hellen sieht in einem Teil jener Bündel besondere Einrichtungen zur Lüftung von Gefäßen, die zwischen den Fasern des Spiegels liegen; bzw. zur Entlastung von Kreuzungsstellen von Nervenästen des Phrenicus. Nach meinen Untersuchungen beim Hunde sind die anormalen Muskelbündel lediglich Fortsetzungen des muskulösen Teils in den Sehnenspiegel, bzw. muskulöse Teilstücke von normalen Sehnenfaserbündeln. Eine Beziehung zu Nerven oder Gefäßen habe ich nicht festgestellt. Noch dazu kommen sie so unregelmäßig vor — im Gegensatz zu den Gefäßen —, daß eine besondere Funktion im Sinne v. d. Hellens unwahrscheinlich ist. Man könnte höchstens den Bündeln um das Foramen venae cavae eine gewisse diesbezügliche Aufgabe zubilligen.

Ich betrachte die Muskelbündel im C. t. lediglich als atavistische Bildungen. Eine besondere funktionelle Bedeutung konnte ich nicht feststellen. Falls überhaupt vorhanden, sind sie bereits im Welpen- bzw. Fötalalter zu beobachten, und nicht, etwa durch besondere Beanspruchung, intra vitam entstanden.

### Diskussion

In der deutschen Literatur findet man zum großen Teil die Ansicht, die Konstruktion des Zwerchfellsiegels des Hundes und der Katze lasse sich makroskopisch infolge seiner Feinheit nicht genau nachweisen. Dies sei mit der vorliegenden Arbeit widerlegt.

Zum Teil wird von zwei oder drei Schichten gesprochen, die den Aufbau des C. t. bedingen sollen. Es ist gerade beim Fleischfresserzwerchfell abwegig, von solchen Schichten zu sprechen. Die das Grundsystem der homolateralen Hauptfasern verspannenden Fasern — morphologisch von verschiedener Herkunft — bilden keine geschlossene Schicht, sondern sind je nach Bedarf an den notwendigen Stellen angeordnet. Sie durchflechten zum Teil förmlich das Grundsystem und finden sich thorakal wie auch abdominal.

Es ist unzweckmäßig, beim Hunde von einer zwei- oder dreischichtigen Sehnenfaserung zu sprechen. Abgesehen davon, daß

diese Angaben keine Aussage über den Zweck dieser Systeme machen, existiert hier keine geschlossene, „thorakale Hauptfaserschicht, die durch eine intermediäre Mittelschicht mit einer abdominalen Hauptfaserlage verbunden ist“. Diese Darstellung, die sich im Grunde von Haberlah ableitet und sich bis in die heutige Zeit erhalten hat, dürfte auf dessen rein mikroskopische Untersuchung zurückzuführen sein. Auf dem sehr kleinen Querschnitt eines mikroskopischen Präparates, das aus einer beliebigen Stelle des Spiegels herausgegriffen wird, ist natürlich eine — örtlich begrenzte — Schichtung (Grundfasern — verbindende, bindegewebige Mittelschicht — verspannende Fasern oder verspannende Fasern — Grundfasern — verspannende Fasern) sichtbar! Es ist jedoch offenbar, daß diese Betrachtungsweise für eine Untersuchung der Einheit *Centrum tendineum* nicht haltbar ist.

Vergleicht man die auf Grund meiner Untersuchungen gegebene Darstellung des Hundezwerchfells mit den Arbeiten über das menschliche Zwerchfell, insbesondere mit jener von Heinrich, so erhebt sich infolge vorhandener, wesentlicher Parallelen in Konstruktion und Aufbau des Spiegels auch die Frage nach dem Vorhandensein der „paradoxen Krümmung der Pars sternalis“ (Heinrich, Hasselwander) des Zwerchfells beim Fleischfresser. Heinrich sieht in den kontralateralen Hauptfasern einen wesentlichen Faktor für das Zustandekommen dieses Phänomens. Gerade jene kontralateralen Hauptfaserbündel sind aber in entsprechender Ausbildung auch im Zwerchfellspiegel von Hund und Katze in ausgeprägter Form vorhanden. Der Hund weist jedoch auch bei forcierter Atmung keine paradoxe Krümmung seiner Pars sternalis auf. Dies ergab sich aus Röntgenaufnahmen, die mir freundlicherweise von Herrn Dr. Walter (Wiss. Assistent am Tieranatomischen Institut München) für meine Untersuchungen zur Verfügung gestellt wurden. Der eigentliche Grund hierfür dürfte einerseits in der waagerechten Lage des Hundekörpers mit all seinen Folgen (statische Verhältnisse, Druck der Eingeweide usw.), andererseits im aufrechten Gang des Menschen liegen. Durch den Wechsel der Körperstellung aus der Waagerechten in die Senkrechte ergaben sich beim Menschen im Laufe der Zeit entsprechende Veränderungen (Sljpper). Mögen nun die kontralateralen Hauptfasern die paradoxe Krümmung der Pars sternalis des menschlichen Zwerchfells begünstigen; ihre primäre, ursprüngliche Aufgabe ist es sicher nicht. Dagegen spricht ihr Vorhandensein im

Carnivorenzwerchfell, wo sie mitunter als beträchtliche Bündel auftreten (Abb. 2). Ihre Aufgabe ist — mit Hilfe der funktionell gleichwertigen Nebenfasern — die Aufnahme der infolge der gegebenen Muskelanordnung auftretenden, im Winkel zueinander liegenden Kräfte, im Sinne eines physikalischen Kräfteparallelogramms. Daß gerade der Hund das kontralaterale Hauptfasersystem in gleicher Weise wie der Mensch aufweist — im Gegensatz zu anderen Haustieren —, liegt an der annähernd homologen Anordnung der Muskulatur, der sich daraus ergebenden Form und Gestalt des C. t., wohl auch der Lage des F. v. c. und den daraus resultierenden Gegebenheiten und dadurch letztlich also an der entsprechenden funktionellen Beanspruchung der einzelnen Punkte innerhalb des Sehnenspiegels bei der Zwerchfellkontraktion.

Es wäre noch die Bedeutung des C. t. für das Zwerchfell in der Gesamtheit seiner sehnigen Strukturen zu betrachten. Aufgebaut aus in ihrer Anordnung konstant vorkommenden Grundfasern und aus einem System, das jene Grundfaserplatte verspannt, und dessen Fasern individuell ausgeprägt sind, stellt der Zwerchfellspiegel eine funktionelle Einheit dar, die ihre Aufgabe, die Aufnahme und Koordination der verschiedenen Muskelkräfte, erst durch das Vorhandensein und das Zusammenwirken dieser zwei Hauptbestandteile erfüllen kann.

Ob und inwieweit der Sehnenspiegel durch seine Konstruktion für die Bildung der Kuppeln des Zwerchfells beiträgt, läßt sich an Hand seines Faserverlaufs nicht feststellen; eine aktive Beteiligung bei deren Entstehung ist jedoch nicht einzusehen. Einzig die zuvor geschilderten „Krümmungen“ der Muskulatur und der homolateralen Hauptfasern in den dorsalen Lappen könnten einen Beitrag dazu liefern.

Für die Bildung der Gesamtwölbung des Zwerchfells ist das Druckgefälle vom Abdomen zum Thorax verantwortlich. Im dorsalen Bereich entstehen gewissermaßen die zwei „Kuppeln“ durch die halbtrichterförmige, mediane Einziehung, die durch den dorsocaudalen Zug der Lumbalpeiler des Zwerchfells und durch die an dieser Stelle die Scheidewand durchdringenden Kanäle (Oesophagus, Aorta) hervorgerufen wird. Ventral entsteht durch den Herzbeutel der sog. Herzsattel (Walter). Rechts von ihm liegt jene ventrale Kuppel, die den Kulminationspunkt der ganzen Zwerchfellwölbung darstellt. Während dorsal die beiden Lappen des

Spiegels ungefähr auf den Wölbungen der beiden Kuppeln liegen, ist dies ventral nicht der Fall. Jener Kulminationspunkt fällt in den Bereich der Muskulatur bzw. auf die Grenze Muskulatur—Sehnenspiegel.

Die Hauptaufgabe des Zwerchfellspiegels ist m. E. die Aufnahme der verschiedenen Kraftvektoren zu einer einheitlichen, geordneten Wirkung. Der Sehnenspiegel ist jener Teil des Zwerchfells, der die verschiedenen, veränderlichen Kräfte der von der Körperwand her einstrahlenden Muskulatur aufnimmt und eine geordnete, thorako-abdominale Bewegung möglich macht. Nötig dazu sind die einzelnen Elemente des C. t., die letzten Endes in ihrer Gesamtheit die funktionelle Einheit einer „Verspannungsaponeurose“ darstellen.

Weitere wichtige Aufgaben des Sehnenspiegels sind wohl die Fixation der dauernd unter Zug stehenden Hohlvene am C. t. und die Gewährleistung eines offenen Lumens der Vena cava beim Durchtritt durch das Zwerchfell durch die besonderen Faseranordnungen. Nicht zu vergessen ist schließlich die Bedeutung des C. t. für die Resorption von Stoffen aus dem Abdomen durch seine besonderen Einrichtungen.

### Zusammenfassung

1. Das Centrum tendineum des Hundezwerchfells zeigt im Vergleich zu den anderen Haustieren in vielen Punkten weitgehende Parallelen zum menschlichen Zwerchfellspiegel.

Beim Hund, aber auch bei der Katze, ist der Sehnenspiegel aus verschiedenen morphologischen Faserqualitäten — wie der des Menschen — aufgebaut, und zwar aus

„homolateralen Hauptfasern“,  
 „kontralateralen Hauptfasern“ und  
 „Nebenfaser“.

2. Für ein Verständnis der Konstruktion des Centrum tendineum ist jedoch eine funktionelle Betrachtungsweise nötig. Je nach der Aufgabe der Faserbündel unterscheide ich zwei wesentliche Systeme im Zwerchfellspiegel:

a) Das Grundsystem der homolateralen Hauptfasern. Seine Struktur ist regelmäßig und konstant. Die Fasern stellen die Verbindung der beiden großen, embryonal getrennt entstehen-

den Muskelpartien des Zwerchfells, der Pars lumbalis und der Pars sternocostalis auf jeweils kürzestem Wege her und liefern die Grundlage des Zwerchfellspiegels.

- b) Das verspannende System der kontralateralen Hauptfasern und der Nebenfaser. Die Fasern sind — je nach den individuellen Gegebenheiten — sehr unregelmäßig verteilt und nur an den jeweiligen Stellen des Bedarfs angeordnet. Sie sind notwendig zur indifferenten Verspannung des Grundsystems und der Muskulatur, da die aus verschiedenen Richtungen einstrahlenden Muskelbündel sich unter bestimmten Winkeln in die Fasern des Grundsystems fortsetzen.
3. Die zentrale Aponeurose des Zwerchfells als Ganzes stellt eine funktionelle Einheit dar, deren Bestehen erst das Vorhandensein beider Systeme ermöglicht. Das eine System wäre ohne das andere nicht existenzfähig.
  4. Eine paradoxe Krümmung der Pars sternalis des Zwerchfells, wie sie der Mensch bei Inspiration aufweist, ist beim Hunde nicht nachweisbar. Für die Existenz jener paradoxen Krümmung der Pars sternalis beim Menschen soll das kontralaterale System maßgeblich sein. Dessen primärer Zweck jedoch ist seine verspannende Aufgabe.
  5. Die schräg vom Herzen zur Leber aufsteigende Hohlvene besitzt eine eigene „Aufhängung“ und Fixation am Zwerchfellspiegel durch besondere Faserzüge, da sie — vor allem bei der Atmung, aber auch im Ruhezustand der tiefsten Expiration — auf Zug beansprucht wird. Besondere Gegebenheiten resultieren daraus für den Kreislauf.
  6. Beim Menschen wurde ein dem Hohlvenenloch analoges, „linkes Venenforamen“ beschrieben, das im Bereich des Centrum tendineum liegen soll (embryonale Reminiscenz an ursprünglich paarig angelegte Körpervenen). Beim Hund ist — symmetrisch zum Forame venae cavae — auf der linken Seite am Übergange des ventralen Lappens in den dorsalen öfters eine bindegewebig verklebte Stelle im Fasersystem vorhanden, die den Verhältnissen beim Menschen entsprechen dürfte.
  7. Im Zwerchfellspiegel des Hundes kommen accessorische Muskelbündel vor. Sie stellen muskulöse Teilstücke von Sehnenfaserbündeln bzw. Einstrahlungen normaler Costalmuskulatur dar

und haben wohl keine besondere funktionelle Aufgabe. Sie sind nicht etwa Überreste eines „auf einem gewissen Embryonalstadium völlig muskulösen Zwerchfells“ (Broman). Das Centrum tendineum entsteht primär, direkt aus dem Mesenchym, ohne vorherige Muskularisation.

### Schrifttum

- Bachmann, W.: Pathologie und Therapie der Krankheiten von Hund und Katze. Ernst Reinhard-Verlag, München-Basel (1956). — Baum-Zietschmann: Anatomie des Hundes I. Verlag P. Parey, Berlin (1936). — Benninghoff, A.: Lehrbuch der Anatomie des Menschen I. Verlag Urban und Schwarzenberg, Berlin (1954). — Benz, A.: Die Eigenform des Zwerchfells des Dt. Schäferhundes und der Ziege. Vet. med. Dissertation, München (1937). — Bertelli, D.: Pieghe dei reni primitivi. Contributo alla morfologia ed alla sviluppo del diaframma. Memorie della Societa Toscana di scienze naturali residente in Pisa. Vol. XVI (1897) (im Orig. nicht erb.). Ricerche sulla morfologia del musculo diaframma nei mammiferi. Arch. per le scienze mediche XIX (1895). — Biermann, A.: Die Blutgefäßversorgung des Zwerchfells beim Schwein. Vet. med. Dissertation Hannover (1953). — Blair, D. M.: A Study of the Central Tendon of the Diaphragm. Journ. of Anatomy **57** (1923) 203–215. — Bongartz, G.: Struktur und Funktion der Vena cava caud. bei Rind, Schaf, Pferd, Schwein und Hund. Vet. med. Dissertation, München (1957). — Bonnet, R.: Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte. Verlag P. Parey, Berlin (1929). — Bourguery: L'anatomie de l'homme. Tome II, Paris (1834). (zit. nach Blair). — Brand: Lehrbuch der Embryologie. Verlag S. Karger, Basel (1949). — Braus, H.: Anatomie des Menschen I. Springer-Verlag, Berlin (1954). — Broman, I.: 1. Erg. Anat. **20** (1911). 2. Grundriß der Entw. Gesch. des Menschen. Verlag I. F. Bergmann, München-Wiesbaden (1921). 3. Handbuch der vergl. Anat. der Wirbeltiere III. Verlag Urban und Schwarzenberg, Berlin (1937). — Dobberstein-Koch: Lehrb. der vergl. Anat. der Haussäuget. Verlag S. Hirzel, Leipzig (1953). — Ellenberger-Baum: Handbuch der vergl. Anat. der Haussäuget. Springer-Verlag, Berlin (1943). — Fischel, A.: Lehrb. von der Entw. des Menschen. Springer-Verlag, Berlin-Wien (1929). — Frank: Handb. der vergl. Anat. der Haustiere I. Verlag Schickhard und Ebner, Stuttgart (1892). — Franklin, K. I.: The Structure of the thoracic inferior vena cava in the Rabbit and in the Cat, and its functional significance. Journ. of Anat. London, **66**, 76–79, 3 Fig. (1931). — Further Notes of the Arrangement of the Collagen Vibres of Veins, Together with Certain Other Observations on Veins and on the Venous Return. Journ. of Anat. London **66**, 602–610, 2 Abb. (1931). — Gegenbaur, C.: Lehrb. der Anat. des Menschen (1899) (zit. nach Haberlah). — Gray, H.: Anatomy of the Human Body. Verlag Lea and Febiger, Philad. (1944). — Grönroos, G.: Das Centrum tendineum und die respirat. Verschiebungen des Zwerchfells. Anat. Anz. **13** (1897) 536–553. — Gurlt: Handb. der vgl. Anat. der Haustiere. Verlag A. Hirschwald, Berlin (1860). — Haberlah, C.: Vgl. Untersu-

chungen über den Bau des Zwerchfells der Haussäugetiere. Vet. med. Diss., Leipzig [1911], 75 S. — Hafferl, A.: Lehrbuch der topograph. Anatomie. Springer-Verlag, Berlin (1953). — Hasselwander, A.: Über die Gestalt des Zwerchfells und die Lage des Herzens. Z. Anat. **114** (1949) 375. — Heinrich, R.: Die konstruktive Form des Zwerchfells im Hinblick auf die paradoxe Krümmung seiner Pars sternalis. Zeitsch. Anat. Entw. Gesch., **117**, 410–432 (1953). — v. d. Hellen, E.: Beitrag zur Anatomie des Zwerchfells: Das Centrum tendineum. Z. Morph. Anthropol. **6** (1903) 151–181. — Henle, J.: Handb. der syst. Anat. des Menschen. Braunschweig (1871). — Körner, F.: Über die Muskularisierung des Zwerchfells. Z. Anat. **109** (1938) 282–292, 7 Abb. — Le Double: Traité des variations du système musculaire de l'homme (1897). (zit. nach Haberlah). — Leisering-Müller-Ellenberger: Handbuch der vgl. Anat. d. Haussäugetiere. Verlag A. Hirschwald, Berlin (1890). — Levi, S.: Rapporti di superficie tra Pars muscularis e Pars tendinea nello sviluppo del diaframma. Arch. ital. Anat. Embriol. **33** (1924) 920–930. — Ljubomudrov, A. P.: On the blood supply of the diaphragm in dog. Arch. Russ. Anat. Hist. Embr. **18** (1938) 214–219, 271–272, 3 Abb. (Im Orig. nicht erh.). — Ludwig und Schweigger-Seidel: Über das Centrum tendineum des Zwerchfells. Arbeit an der phys. Anstalt zu Leipzig 1866, 174–181, und Sitzungsbericht der math. phys. Klasse d. K. S. d. Wissenschaften, **18**. — Luschka, G.: Die Anatomie der Brust des Menschen. Tübingen (1863). — Martin, P.: Lehrbuch der Anat. der Haussäugetiere. Verlag Schickhard und Ebner, Stuttgart (1914). — Meckel: Handbuch der menschlichen Anatomie (1816) (zit. nach Haberlah). — Nickel-Schummer-Seifferle: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere I. Verlag P. Parey, Berlin (1954). — Panerazi, G.: La „Pars costalis“ del diaframma dei Mammiferi Atti Soc. Nat. Modena, **62** (1931) 69–80. — La „Pars lumbalis“ e il „Centrum tendineum“ del diaframma dei Mammiferi. Atti. Soc. Nat. Modena **62**, 135–153 (1931). — La „Pars sternalis“ del diaframma dei Mammiferi. Atti. Soc. Nat. Modena, Serie VI Vol. IX 45–47 (1930). — Panerazi, G.: Intorno al „foramen venae cavae“ del diaframma dei Mammiferi. Atti. Soc. Nat. Modena, Serie VI, Vol. V–VI (LVII–LVIII), 191–192, (1927). — Petit, G. M.: Remarques sur la morphologie du centre phrenique des Mammifères. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Tome **168** 417–419, Paris 1919. — Pfuhl, W.: Zur Mechanik der Zwerchfellbewegung. Z. f. Konstitutionslehre XII, **12** (1926) 158. — Poirier, P.: Traité d'anatomie humaine, Tome II Paris (1896). — Rauper-Kopsch: Anatomie des Menschen. Arb. Gem. Medizin. Verlage, Georg Thieme, Leipzig (1947). — Reighard, I. und H. S. Jennings: The Anatomy of the Cat. New York (1929). — Sappey: Traité d'anatomie descriptive (1876). (zit. nach Haberlah). — Siegelbauer, F.: Lehrbuch der normalen Anatomie d. Menschen. Verlag Urban und Schwarzenberg, Wien (1947). — Sisson, S.: The Anatomy of the Domestic Animals. Verlag W. B. Saunders Company (1948). — Slijper, E. J.: Biologic-anatomical Investigations on the Bipetal Gait and Upright Posture in Mammals with Special Reference to a Little Goat, born without Forlegs. Nederl. Akademie van Wetenschappen, Proceedings Vol. XLV, Nos 3 und 4 (1942). — Sömmering, S.: Vom Baue des menschlichen Körpers (1791). — Spalteholz, W.: Handatlas und Lehrbuch der Anatomie

des Menschen I. Verlag S. Hirzel, Zürich-Stuttgart (1953). — Sussdorf: Lehrb. der vergl. Anat. der Haustiere I. Verlag Ferd. Enke, Stuttgart (1895). — Tenschert, H.: Zur Anatomie und Physiologie der Zwerchfellkuppel bei Hund und Katze. Vet. med. Diss., München (1952), 23 S. — Trautmann, A.: „Das Zwerchfell“ in W. Ellenberger. Handb. d. vgl. mikr. Anatomie der Haustiere III, 495—517 (1911). — Virno, V.: Sistema digastrici e centri virtuali di irradiazione muscolare nel diaframma umano (morfologia funzionale). Monit. Zool. Ital., Atti. Soc. Ital. Anat. Milano, **47**, Suppl., 251—255 (1937). — Walter, P.: Die Röntgenstereoskopie nach der Methode von Prof. Dr. A. Hasselwander in der Veterinär-anatomie mit Untersuchungen an Herz und Zwerchfell des Hundes. Anat. Anz. **103** (1956) 38—56, 5 Abb. — Wenkebach, K. F.: Über pathologische Beziehungen zwischen Atmung und Kreislauf beim Menschen. Slg. klin. Vortr. **9** (1907) 131. — Zietschmann, O.: Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte der Haustiere. Verlag R. Schwetz, Berlin (1929). — Zietschmann-Krölling: Lehrb. der Entw. Gesch. der Haustiere. Verlag P. Parey, Berlin (1955). — Zimmerl, U.: Anatomia Topografica Veterinaria. Casa Edit. Dottor F. Volardi, Milano (1949).

Hartmut Krauss  
München  
Schwere Reiterstraße 9  
Tieranatomisches Institut

Am Ende meiner Arbeit ist es mir eine besonders angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. GRAU für die Überlassung des Themas und für die gütige Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit meinen ergebenen Dank zu sagen.

Ebenso möchte ich nicht veräümen, Herrn Privatdozenten Dr. WALTER für seine wertvollen Ratschläge und Herrn Dr. LIEBERMANN für die freundliche Anfertigung von Zeichnungen zu danken.

## LEBENS LAUF

Am 9. November 1932 wurde ich, Hans Hartmut Krauß, als zweiter Sohn des Oberstudienrates Otto Krauß und seiner Ehefrau Betty, geb. Hoeffler, in Schwabach in Mittelfranken geboren.

Von Ostern 1939 bis Ostern 1943 besuchte ich die Grundschule in Schwabach und trat anschließend in die Oberrealschule Schwabach über. 1952 legte ich dort die Reifeprüfung ab. Im Wintersemester 1952/1953 immatrikulierte ich mich an der Universität München. Nach zweijährigem Studium an der Tierärztlichen Fakultät legte ich 1954 die tierärztliche Vorprüfung ab. Mein Studium beschloß ich nach weiteren fünf Semestern in München im Sommer 1957 mit dem tierärztlichen Examen.



